



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Talven sääolosuhteiden vaikutus valuma-alueen ravinnekuormaan

Tarkastelussa Uskelanjoki

Mandi Hannula

Maantiede
pro gradu -tutkielma
Laajuus: 30 op

21.04.2025

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Mandi Hannula

Otsikko: Talven sääolosuhteiden vaikutus valuma-alueen ravinnekuormaan: Tarkastelussa Uskelanjoki

Ohjaaja: Elina Kasvi

Sivumäärä: 63 sivua

Päivämäärä: 21.4.2025

Suomen sisä- ja rannikkovesien ravinnekuormitus on voimistunut merkittävästi 1950-luvulta lähtien. Tärkeimmät vesiä rehevöittävät ravinteet ovat fosfori ja typpi, joiden merkittävimmät päästölähteet aiheutuvat ihmistoiminnasta. Erityisesti fosforipitoisuus vesistöissä on lisääntynyt 1990-luvulta alkaen voimakkaasti, jonka seurauksena erityisesti Suomenlahti ja Saaristomeri kärsivät rehevöitymisestä. Ennustetut ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat pahentamaan Itämeren rehevöitymistilannetta, kun muuttuvat ilmasto-olosuhteet vaikuttavat ravinteita kuljettavien jokien prosesseihin. Hydrologiset muutokset tulevat olemaan jo lähivuosikymmeninä selkeitä maan eteläosassa. Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa jokidynamiikkaan etenkin talvisin, jolloin lämpötilat tulevat olemaan yhä useammin nollan asteen yläpuolella. Tässä työssä tarkastellaankin erilaisten talven sääolosuhteiden vaikutusta valuma-alueen ravinnekuormitukseen käyttämällä Varsinais-Suomessa sijaitsevan Uskelanjoen yhtäjaksoisia havaintoaineistoja kahden erilaisen talven ajalta.

Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella kahden talven (2019–2020 ja 2023–2024) vedenlaatu-, virtaus- ja sääolosuhteita Uskelanjoen valuma-alueella, sekä vertailla niitä keskenään. Tarkoituksena on päätellä, miten talven sääolosuhteet vaikuttavat talviaikaiseen fosforikuormitukseen. Kahden talven olosuhteita verrataan viimeisen 20 vuoden vastaaviin havaintoihin Uskelanjoen alueella. Aineistot koostuvat ELY-keskuksen vesimittaridatasta, sekä Ilmatieteen laitoksen ja yksityisen sääaseman säähavainnoista. Aineistoista laskettujen tunnuslukujen avulla havaintoja voidaan vertailla, ja korrelaatiokertoimen avulla arvioidaan havaintojen välisiä tilastollisia yhteyksiä.

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että kahden tarkasteltavan talven välillä vedenlaatu-, virtaus- ja sääolosuhteet vaihtelivat runsaasti. Talvi 2019–2020 oli lämmin ja sateinen, ja silloin virtaamat ja fosforipitoisuus olivat keskimääräistä suurempia. Talvi 2023–2024 oli keskimääräistä kylmempi, kuivempi, lumisempi, sekä hitaampi virtaamaltaan ja fosforipitoisuus oli keskimääräistä alhaisempi. Lämpimän ja sateisen talven aikana jokien virtaamat olivat suurempia kuin kylminä talvina, jolloin niiden mukana kulkeutuu enemmän kiintoainesta ja ravinteita. Tässä tutkimuksessa käytetyn korrelaatiokertoimen perusteella kokonaisfosforin ja ilman keskilämpötilan välillä oli voimakas korrelaatio, joka tukee hypoteesia vesistöjen ravinnekuormituksen lisääntymisestä ilmaston lämpenemisen myötä.

Lämpenevä ilmasto vaikuttaa voimakkaasti talven sääolosuhteisiin Etelä-Suomessa, jolloin valuma-alueelta tuleva kuormitus lisääntyy. Lumen määrän muuttuminen on yksi keskeisimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa. Lumen määrä vähenee koko maassa, mutta eniten Etelä-Suomessa, kun lumipeitteen kesto lyhenee ja runsaslumisten talvien määrä vähenee. Jokien virtaaman kasvaessa talviaikaan myös niiden mukana kulkeutuvien ravinteiden ja kiintoaineksen määrä kasvaa. Lämpenevän ilmaston myötä Uskelanjoen kaltaisilla Etelä-Suomen valuma-alueilla vetenä tulevat sateet kasvattavat talviaikaista virtaamaa ja ravinnekuormaa sulasta maanpinnasta. Vettynyt maa ja jäätymis-sulamissyklist lisäävät eroosiota ja tulevat ilmastonmuutoksen myötä yleistymään

Avainsanat: ravinnekuormitus, ilmastonmuutos, valuma-alue, virtaama

Master's thesis

Subject: Geography

Author: Mandi Hannula

Title: The impact of winter weather conditions on nutrient load in a catchment area: A case study of the Uskelanjoki river

Supervisor: Elina Kasvi

Number of pages: 63 pages

Date: 21.4.2025

Since the 1950s, nutrient load in Finland's inland and coastal waters has increased significantly. The primary nutrients contributing to eutrophication are phosphorus and nitrogen, with the most significant sources being human activities. Particularly the concentration of phosphorus has risen sharply since the early 1990s, resulting in severe eutrophication in areas such as the Gulf of Finland and the Archipelago Sea. The predicted impacts of climate change are expected to worsen the eutrophication of the Baltic Sea, as changing climate conditions influence the processes of rivers that transport nutrients. Hydrological changes are expected to become apparent in southern Finland within the next decades. Climate warming will particularly affect river dynamics during the winter, as temperatures are increasingly expected to remain above freezing. This study examines the impact of varying winter weather conditions on nutrient loading in a catchment area by using continuous observation data from two different types of winters in the Uskelanjoki River, located in Southwest Finland.

The aim of this study is to examine the water quality, flow and weather conditions during two winters (2019-2020 and 2023-2024) in the Uskelanjoki River drainage basin and to compare them with each other. The goal is to determine how winter weather conditions affect phosphorus loading during the winter season. The conditions of the two winters are also compared with corresponding observations from the past 20 years in the Uskelanjoki area. The data consists of water flow measurements from the ELY Centre (The Centre for Economic Development, Transport and the Environment), as well as weather observations from the Finnish Meteorological Institute and a private weather station. By calculating statistical indicators from the datasets, the observations can be compared, and the correlation coefficient is used to assess statistical relationships between the variables.

The results of the study indicate that there were significant variations in water quality, flow, and weather conditions between the two winters examined. The winter of 2019-2020 was warm and rainy, with above-average flow rates and phosphorus concentrations. In contrast, the winter of 2023-2024 was colder, drier, snowier and characterized by slower flow rates and lower-than-average phosphorus concentrations. During warm and rainy winters, river flows tend to be higher than during colder winters, which leads to increased transport of suspended solids and nutrients. Based on the correlation coefficient used in this study, there was a strong correlation between total phosphorus and average air temperature, supporting the hypothesis that nutrient loading in water bodies increases with climate warming.

A warming climate strongly influences winter weather conditions in southern Finland, leading to increased runoff and nutrient load from catchment areas. Changes in snow cover are among the most significant impacts of climate change in Finland. Snow amounts are decreasing nationwide, most notably in southern Finland, as snow cover duration shortens, and the frequency of snow-rich winters declines. As river flows increase during the winter, so does the amount of nutrients and suspended solids they transport. With a warming climate, rainfall – rather than snowfall – on catchment areas like Uskelanjoki increases winter flow and nutrient load from unfrozen ground surfaces. Saturated soils and frequent freeze-thaw cycles enhance erosion, and these conditions are expected to become more common as the climate continues to change.

Key words: nutrient load, climate change, catchment area, drainage basin, discharge

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Teoreettinen viitekehys	8
2.1	Valuma-alueen hydrologiset prosessit	8
2.1.1	Hydrologinen kierto ja virtaama	8
2.1.2	Aineksen kulkeutuminen virtaavassa vedessä	11
2.1.3	Valuma-alueen ominaisuudet	13
2.2	Vesistöjen ravinnekuormitus	15
2.2.1	Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet	15
2.2.2	Erosio ja kiintoaineen kulkeutuminen	17
2.2.3	Ravinnekuormituksen vaikutukset vesistöissä	20
2.3	Ilmastonmuutos	22
2.3.1	Ilmastonmuutos Etelä-Suomessa	22
2.3.2	Ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologisiin prosesseihin	25
3	Tutkimusalueen kuvaus	27
4	Aineistot ja menetelmät	31
4.1	Aineistot	31
4.1.1	Uskelanjoen vedenlaatuhavainnot	31
4.1.2	Uskelanjoen hydrologiset havainnot	31
4.1.3	Uskelanjoen valuma-alueen säähavainnot	32
4.2	Menetelmät	33
4.2.1	Tilastollisten tunnuslukujen laskeminen	33
4.2.2	Vertailukausien muutostarkastelu	35
5	Tulokset	36
5.1	Vedenlaadun ja sääolojen vaihtelu kahden erilaisen talvijakson aikana	36
5.1.1	Uskelanjoen vedenlaatu talvella	36
5.1.2	Uskelanjoen virtaamaolosuhteet talvella	38
5.1.3	Uskelanjoen sääolosuhteet talvella	40
5.2	Sääolosuhteiden vaikutus talven ravinnekuormitukseen	43
6	Keskustelu	49
6.1.1	Sääolosuhteiden vaikutus vedenlaatuun	49
6.1.2	Ilmastonmuutoksen vaikutus vesistöjen ravinnekuormitukseen	51
7	Johtopäätökset	55
	Kiitokset	57
	Lähteet	58

1 Johdanto

Suomen sisä- ja rannikkovesien rehevöityminen on voimistunut merkittävästi 1950-luvulta lähtien ihmisperäisen ravinnekuormituksen takia (Pietiläinen 2008). Merkittävimmät vesiä rehevöittävät ravinteet ovat fosfori ja typpi. 1980-luvulta alkaen typen kehitys on ollut keskimäärin muuttumaton tai laskeva, kun taas fosforin kehitystrendit ovat olleet pääsoin nousevia, erityisesti 1990-luvulta alkaen. Erityisen selkeää fosforipitoisuuden kasvu on ollut Suomenlahdella ja Saaristomerellä. Rehevöityminen aiheuttaa monia ongelmia, kuten runsastuneita sinileväkukintoja, särkikalakantojen lisääntymistä, verkkojen limoittumista, vesien samentumista ja monia muita haittoja niin ihmisille kuin eläimille. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat fysikaaliset, kemialliset ja biologiset muutokset vesistöissä tulevat todennäköisesti pahentamaan esimerkiksi Itämeren rehevöitymistilaa. Jotta ympäristön kuormitusta voitaisiin vähentää, ja ravinnepestöjen aiheuttamia ongelmia ehkäistä, tulee kuormituksen lähteet tunnistaa ja ymmärtää ilmastonmuutoksen vaikutus ravinteiden kiertokulussa.

Itämereen päätyvä ravinnekuormitus muodostuu jokien ainevirtaamista ja suorasta kuormituksesta merialueella (Uusitalo ym. 2007). Ravinteet kulkeutuvat jokien yläjuoksulta mereen asti, jos matkalla ei ole esimerkiksi ravinteita pidättäviä järviä. Valuma-alueelta tulevan kuormituksen vaikutuslaajuus vaihtelee jokien koon, jokisuiden sijainnin ja rannikon monimuotoisuuden mukaan (Fleming ym. 2021). Joet ja rannikkovedet ovat yleensä järviä ravinteikkaampia ja rehevämpiä (Pietiläinen 2008). Ravinteiden kulkeutumiseen vaikuttaa voimakkaasti myös esimerkiksi säätila, sillä ravinnekuormat ovat suoraan riippuvaisia valunnan määrästä (Uusitalo ym. 2007). Myös maaperä sitoo ravinteita ja aiheuttaa viivästymiä kulkeumissa. Erityisesti fosforin kohdalla vaikutukset voivat näkyä vasta vuosien tai jopa vuosikymmenten kuluttua lannoituksen jälkeen.

Omien rannikko- ja sisävesiemme laatu riippuu pääasiassa Suomessa tehtävistä toimenpiteistä ja omista ravinnepestöistämme (Uusitalo ym. 2007). Rannikkovesiemme tila ei ole merkittävästi parantunut vesiensuojelutoimenpiteistä huolimatta, ja Pohjanlahdella tilanne on jopa huonontunut (Fleming ym. 2021). Parantumista on kuitenkin havaittu Suomenlahdella, kun esimerkiksi Venäjältä tuleva kuormitus on pienentynyt tehokkaamman jätevedenpuhdistuksen ansiosta. Suomessa maatalouden osuus ravinnekuormasta on kasvanut samalla, kun pistekuormituslähteiden osuus on vähentynyt. Samalla kuormituksen

hallitseminen on tullut entistä vaikeammaksi, kun ravinteet kulkeutuvat hajakuormituksena laajoilta alueilta, suuren vesimäärän mukana pieninä pitoisuuksina.

Muuttuvat ilmasto-olosuhteet voivat vaikuttaa jokiprosesseihin monella tapaa. Valuma-alueen ja uomaverkoston ominaisuuksista ja sijainnista riippuen ilmastonmuutos voi lisätä tulvia tai toisaalta vähentää virtaavan veden määrää (Veijalainen ym. 2010). Muutokset lämpötiloissa ja sademäärissä vaikuttavat koko valuma-alueen valuntamäärään ja esimerkiksi lumikertymään. Jokien virtaamien muutokset ovat keskeisiä arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia hydrologiseen kiertokulkuun, sillä virtaamat ovat vahvasti sidoksissa sateisiin, haihtumiseen ja vesivarastojen muutoksiin koko valuma-alueella (Lintunen ym. 2024). Etelä- ja Keski-Suomessa virtaamien on havaittu kasvaneen viime vuosikymmeninä etenkin talvikaudella, kun talvien keskilämpötilat ovat nousseet. Syksyn virtaamahuiput ovat siirtyneet myöhemmäksi, ja syyksi on arvioitu lumisateen alkamisen myöhästymistä ja toisaalta yksittäisten sadetapahtumien voimistumista loppusyksystä ja alkutalvesta. Muutokset talven virtaamissa ja vedenkorkeuksissa ovat suurimpia Etelä- ja Keski-Suomessa, kun taas Pohjois-Suomessa lumiset talviolosuhteet tulevat ennusteiden mukaan säilymään pidempään (Veijalainen ym. 2012).

Hydrologiset muutokset tulevat olemaan jo lähivuosikymmeninä selkeitä etenkin eteläosissa maata, kun taas Pohjois-Suomessa muutokset ilmenevät vasta myöhemmin ilmaston lämpenemisen edetessä (Veijalainen ym. 2012). Ilmatieteen laitoksen (2024) alustavien tilastojen mukaan vuoden 2020 keskilämpötila oli Suomessa ennätysellisen korkea, noin 4,8 astetta. Tämä ylittää edellisen ennätyksen vuodelta 2015 jopa noin 0,6 asteella. Monissa maakunnissa sademäärät olivat monin paikoin poikkeuksellisen suuria eli ne toistuvat keskimäärin harvemmin kuin kerran 30 vuodessa. Talvi eli joulukuun loppuun ottamatta Keski- ja Pohjois-Lappia. Sateiden osalta talvi oli monin paikoin maan lounaisosassa sekä pohjoisosassa poikkeuksellisen sateinen, paikoin ennätysellisen sateinen. Varsinais-Suomen ja Uudenmaan alueella sademäärät olivat yleisesti yli 250 millimetriä, mikä on yli puolitoista kertaa enemmän kuin vertailukaudella tyypillisesti. Ennätysellisen lämpimien talvien lisäksi Etelä-Suomessa esiintyy kuitenkin myös vielä keskimääräistä kylmempiä talvijaksoja, kuten esimerkiksi kolme vuotta lämpöennätyksen jälkeen vuosina 2023–2024.

Lämpimien talvijaksojen vaikutusta jokisedimenttien dynamiikkaan on tarkasteltu esimerkiksi Salmelan ym. (2022) tutkimuksessa, joka sijoittuu Saaristomeren alueelle, Uskelanjoen ja

Halikonjoen suistoon. Sedimenttejä kasautui huomattavasti enemmän suistoon, kun talvikuukausina oli tavallista sateisempaa ja lämpimämpää, eikä jää- tai lumipeitettä ollut, ja valuma-alueen eroosio oli voimakkaampaa. Poikkeavat kuormitustapahtumat seurasivat yleensä korkeampia virtausolosuhteita, jolloin jokisysteemissä kulkeutuu suurempia määriä sedimenttejä kohti meriallasta. Tutkimuksessa kuitenkin tarkasteltiin joessa kulkeutuvien aineiden vaikutusta merialueilla, jossa sedimentaatioon vaikuttaa osin erilaiset ympäristötekijät kuin jokiuomassa. Joessa kulkeutuvan ravinnekuormituksen perusteellisempaa tarkastelua varten tässä työssä selvitetään, miten paljon erilaisten talviolosuhteiden vallitessa valuma-alueelta kulkeutuu fosforia. Valuma-alueen ominaisuuksilla, kuten korkeussuhteilla ja maankäytöllä, on suuri merkitys ravinnekuormitukseen, jonka ennustetaan myös Salmelan ym. tutkimuksessa kasvavan ilmastonmuutoksen myötä. Kuten Salmelan ym. tutkimuksessa, myös tässä työssä erilaisia talviolosuhteita ja niiden vaikutusta ravinnekuormitukseen tarkastellaan kahta hyvin erilaista talvikautta vertailemalla.

Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella vuosien 2019–2020 ja 2023–2024 talvikuukausien (joulukuu–helmikuu) sää-, virtaus- ja vedenlaatuolosuhteita Uskelanjoessa, sekä vertailla niitä keskenään. Talvi 2019–2020 oli poikkeuksellisen lämmin ja runsassateinen Etelä-Suomessa, kun puolestaan talvea 2023–2024 voidaan luonnehtia keskimääräistä kylmemmäksi.

Tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää, miten erilaiset talven sääolosuhteet vaikuttavat valuma-alueen ravinnekuormitukseen Uskelanjoen valuma-alueella. Uskelanjoki on Varsinais-Suomessa sijaitseva tyypillinen Saaristomerren osavaluma-alue, jossa pelloilta tuleva ravinnekuormitus on suurta. Tutkimuksessa pohditaan lopuksi, miten ilmastonmuutos ja muuttuvat talviolosuhteet tulevat vaikuttamaan jokien valuma-alueilla tapahtuvaan talviaikaiseen ravinnekuormitukseen.

Tutkimuskysymykset:

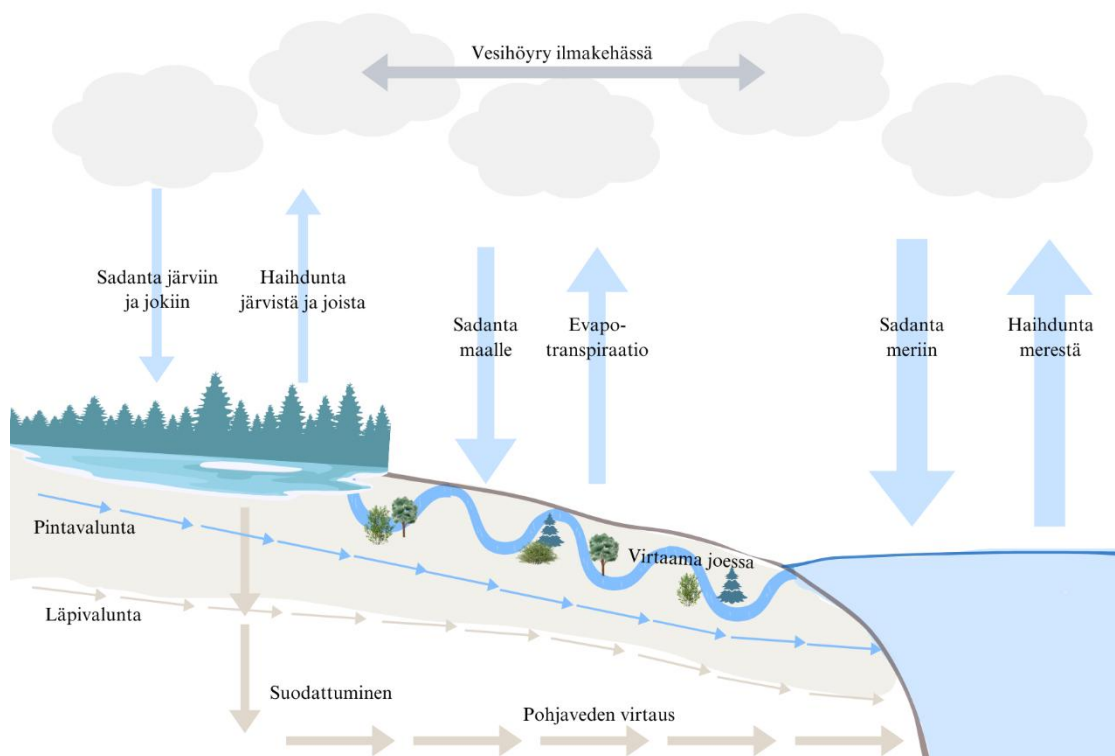
1. Miten vedenlaatu ja sääolot vaihtelevat kahden erilaisen talvijakson aikana?
2. Miten talven sääolosuhteet (lämpötila, sade, lumimäärä) vaikuttavat talven ravinnekuormitukseen?
3. Mitä havainnoista voidaan päätellä ilmastonmuutoksen mahdollisista vaikutuksista talviajan ravinnepäästöihin?

2 Teoreettinen viitekehys

2.1 Valuma-alueen hydrologiset prosessit

2.1.1 Hydrologinen kierto ja virtaama

Veden liikkumista nesteinä, höyrynä tai kiinteässä olomuodossa ilmakehän ja maan pintakerrosten välillä kutsutaan hydrologiseksi kierroksi (kuva 1) (Davie & Quinn 2019). Lauhkealla ilmastovyöhykkeellä noin yksi kolmasosa sateesta päättyy pohjavedeksi, toinen kolmasosa pintavalumaksi ja yksi osa haihtuu takaisin ilmakehään. Ilmakehässä vesi liikkuu höyrystyneenä, kunnes se tiivistyy nestemäiseen tai kiinteään olomuotoon. Vesihöyryn muuttuessa vesipisaroiksi tai lumihiutaleiksi, se palaa maanpinnalle sateena. Kierron täydentää maan pinnalla tai sen alla kulkeva virtaama, joka kuljettaa vettä kohti meriä. Perille päästyään ja jo matkalla vettä haihtuu takaisin ilmakehään. Hydrologista kiertoa voidaan tarkastella niin globaalissa kuin paikallisessakin mittakaavassa. Tietyn valuma-alueen hydrologista kiertoa tarkasteltaessa on mahdollista perehtyä yksityiskohtaisemmin rajatun alueen hydrologisiin prosesseihin.



Kuva 1. Hydrologinen kierto, jossa vesi kiertää ilmakehän, meren, maanpinnan ja pohjaveden välillä. Nuolien paksuus kuvaa veden suhteellista määrää eri vaiheissa kiertokulkua.

Veden kiertokulussa tärkeässä osassa on haihdunta, joka palauttaa veden maanpinnalta takaisin ilmakehään (kuva 1) (Davie & Quinn 2019). Haihduntaa voi tapahtua suoraan vesistöistä, kuten jokiuomista, järvistä tai meristä, mutta myös maaperästä tai siinä kasvavista kasveista (evapotranspiraatio). Kasvit voivat haihduttaa maaperästä ottamaansa vettä (transpiraatio) tai sateena kasvin pinnalle jäänyttä vettä (interseptio). Vettä voi haihtua myös esimerkiksi rakennusten pinnoilta ilman, että vesi koskaan saavuttaa maaperää. Jos vesi saavuttaa maanpinnan, se yleensä suodattuu maaperään. Maanpinnan alla vesi voi liikkua saturoitumatta valuma-alueiden pinnanmuotojen mukaan läpivaluntana (throughflow) tai saturoituneena syvällä maaperässä, pohjaveteen sekoittuneena (kuva 1). Toinen olennainen osa kiertoa on sadanta, joka puolestaan palauttaa veden ilmakehästä takaisin maaperään. Sateen aikana vesi voi kulkeutua pisaroina, rakeina, hiutaleina tai räntänä.

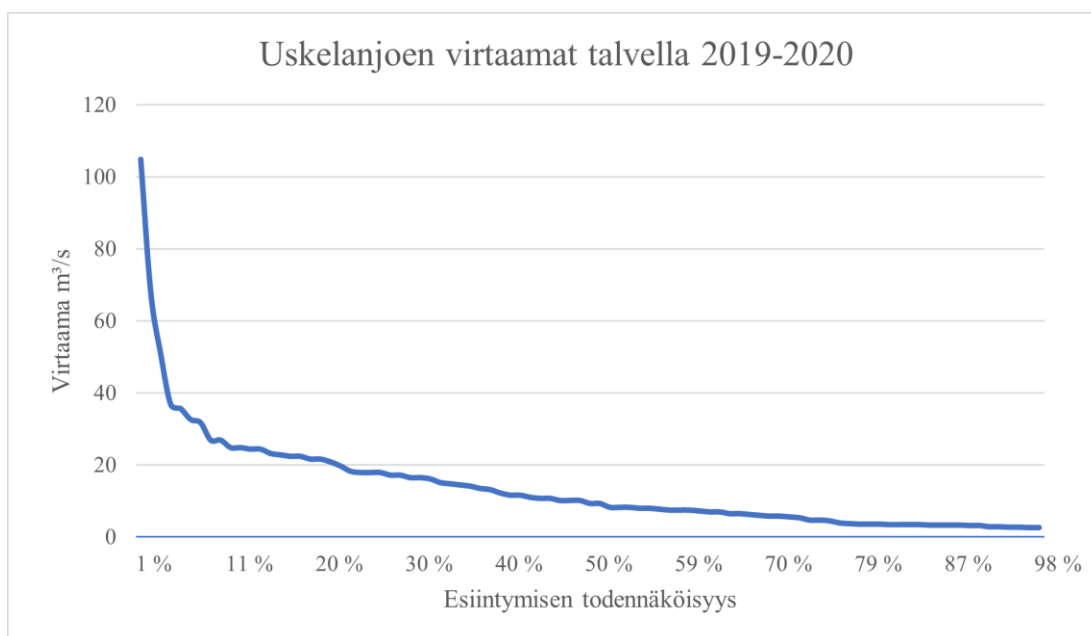
Hydrologisia prosesseja ja kiertoa voidaan kuvata vesitasapainoyhtälöllä (Davie & Quinn 2019). Sen avulla kuvataan, miten massa ja energia jakautuvat tietyllä aikavälillä, jolloin hydrologista kiertoa tarkastellaan suljettuna järjestelmänä, josta energiaa tai massaa (tässä tapauksessa vettä) ei poistu tai sitä ei tule lisää. Vesitasapainoa kuvaavassa kaavassa ” $P \pm E \pm \Delta S \pm Q = 0$ ” P kuvaa sadantaa, E haihduntaa, S varaston muutosta ja Q virtaamaa.

Jokiuomaan saapuvasta vedestä yli 95 prosenttia kulkeutuu paikalle valuma-alueen pintaa pitkin valuen (Knighton 1998). Uomaan saapuvan veden määrä ja sen saapumisnopeus vaihtelee esimerkiksi sen mukaan, tuleeko vesi valuma-alueelle lumena vai vesisateena. Uoman virtauksessa tapahtuvaan vaihteluun vaikuttaa lisäksi valuma-alueen ilmasto-olosuhteet, maaperä ja topografia. Esimerkiksi tulvavirtauksilla on merkittävä vaikutus uoman muotoon ja tulvatasankojen dynamiikkaan. Ne ovat seurausta äärimmäisistä sääolosuhteista ja niiden yhdistelmistä, kuten runsaista pitkittyneistä sateista tai paksun lumipeitteen päälle satavasta lämpimästä sateesta.

Valuma-alueella tapahtuva veden kulkeutuminen voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan: suora valunta uomaan (direct runoff) esimerkiksi sateen jälkeen, sekä pohjaveden ylläpitämä pohjavalunta (baseflow) (Knighton 1998). Nämä eroavat toisissaan siinä, miten nopeasti ne saavuttavat uoman. Uoman virtausta mitataan yleensä määrittelemällä virtaama (Q). Virtaamalla tarkoitetaan vesimäärää, joka kulkee uomapoikkileikkauksen kautta virtaussuuntaan tietyssä aikayksikössä (Korhonen 2007). Virtaamalla kuvataan jokiympäristön vesimäärää ja veden kulkeutumista, ja yleensä se esitetään kuutioina sekunnissa (m³/s). Luonnonuomissa mittaus tehdään useissa uoman eri pisteissä, ja tuloksista

määritetään poikkileikkausten keskinopeus. Virtaama lasketaan uoman poikkileikkauksen (A) ja keskinopeuden (v) tulona: $Q=Av=wdv$, jossa w tarkoittaa uoman leveyttä ja d uoman keskisyvyyttä (Knighton 1998).

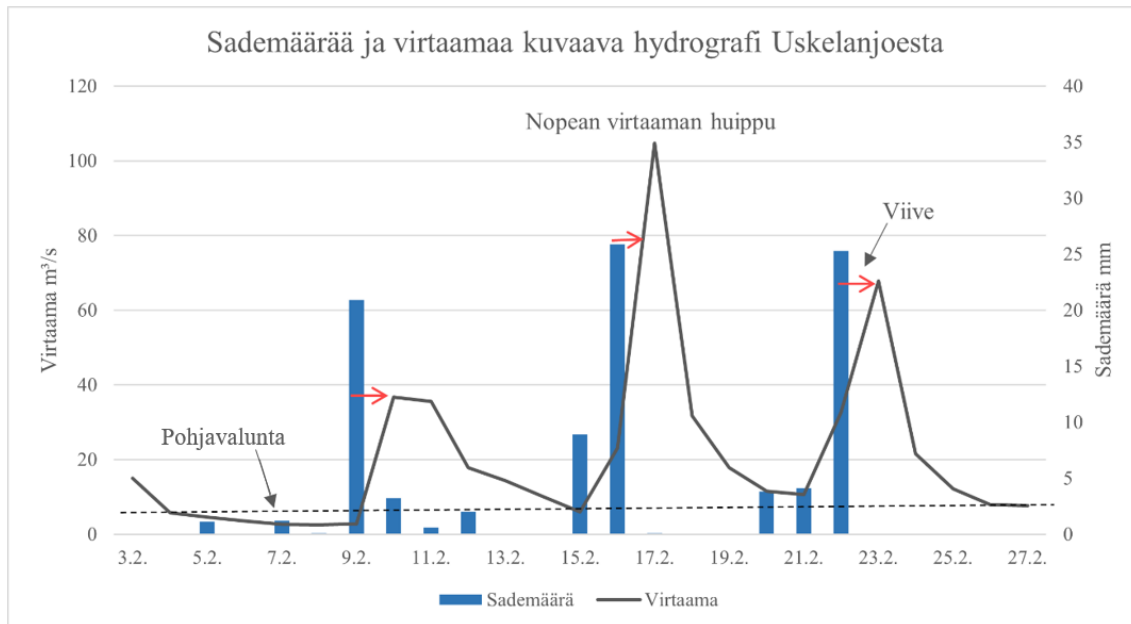
Päivittäiset virtaaman keskiarvot eli keskivirtaamat voidaan esittää virtaus-pysyvyyskäyrän (flow-duration-curve) (kuva 2) avulla (Knighton 1998). Sen avulla tarkastellaan tietyn periodin, yleensä vuoden, aikana vallinneiden virtausolosuhteiden yleisyyttä. Mallin avulla voidaan tarkastella, kuinka usein erisuuruiset virtaama-arvot toistuvat, ja miten sadanta vaikuttaa valuma-alueen vesitaseeseen. Jyrkkä käyrä kuvaa vaihtelevaa virtausta, joka on yleistä pienillä valuma-alueilla, joissa nopeat virtaustapahtumat ovat yleisiä ja pohjavaluntaa on hyvin vähän. Puolestaan tasainen kuvaaja tarkoittaa vähäistä vaihtelua virtauksessa, mikä johtuu yleensä veden imeytymisen ja pohjaveden tasoittavasta vaikutuksesta.



Kuva 2. Virtaus-pysyvyyskäyrä Uskelanjoen virtaamista talvella 2019–2020. Jyrkkä käyrä kuvaa vaihtelevaa virtausta, joka on yleistä pienillä valuma-alueilla, joissa nopeat virtaustapahtumat ovat yleisiä ja pohjavaluntaa on hyvin vähän. Kuvaajan mukaan korkean virtaaman (yli 30 m³/s) tapahtumat ovat hyvin harvinaisia (alle 5 % todennäköisyys).

Hydrografilla (kuva 3) puolestaan voidaan esittää esimerkiksi sademäärän vaikutusta virtaamaan (Knighton 1998). Tyypillisesti rankkasadetapahtuma esitetään mallissa niin, että se edustaa veden kulkeutumista uomaverkostossa ja maanpinnalla. Sen avulla nähdään, kuinka nopeasti satanut vesi saavuttaa uoman ja miten se lisää siellä kulkevan veden määrää. Veden kulkeutumisnopeuteen vaikuttaa muun muassa valuma-alueen maaperän ominaisuudet,

mutta myös uomaverkoston ominaisuudet. Esimerkiksi pienessä vesistöissä vesi saavuttaa nopeasti uoman, ja viiveaika on lyhyt.



Kuva 3. Helmikuun 2020 Uskelanjoen virtaamaa ja valuma-alueen sademäärää kuvaava hydrografi, jossa näkyy sateen jälkeinen viive virtaaman kasvussa, sekä virtaaman nopeat reaktiot sadetapahtumiin.

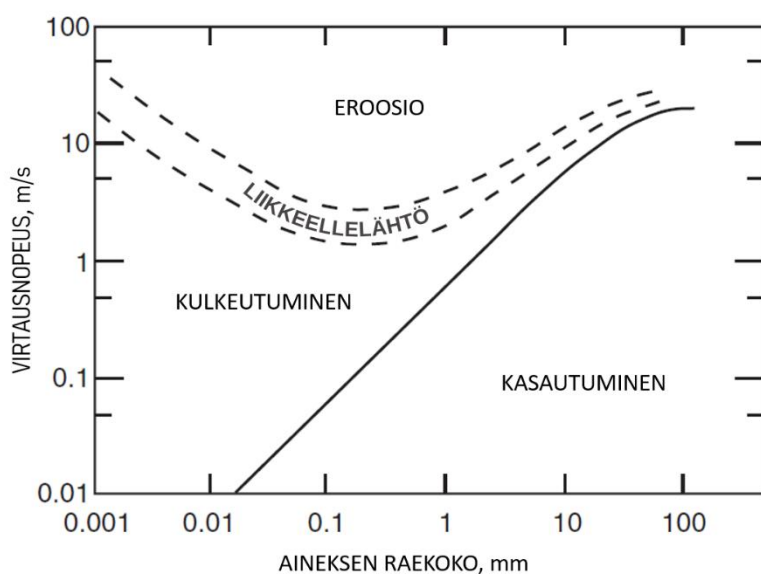
Ylivirtaamalla kuvataan vuotuista tai tietyn vuodenajan tai aikavälin suurinta havaittua virtaamaa (Korhonen 2007). Keskimääräinen vuotuinen ylivirtaama lyhennetään MHQ, ja suurin havaittu virtaama HQ. Noin puolet Suomen vuotuisesta valunnasta purkautuu kevättulvan aikana, joten ylivirtaamakauden valunnalla on vuotuisessa vesitilassa olennainen merkitys. Suomessa vuoden ylivirtaama ajoittuu yleensä keväälle huhti-kesäkuulle, kun lumet sulavat ja kevättulvat ovat huipussaan. Etelä-Suomessa ylivesi voi kuitenkin esiintyä myös muina vuodenaikoina. Myös järvillä on merkittävä virtaamaa tasoittava vaikutus.

2.1.2 Aineksen kulkeutuminen virtaavassa vedessä

Luonnonvesien kuljettama kiintoaines kulkeutuu vesistöissä joko veteen liuenneena, suspendoituneena tai pohjaa pitkin liikkuen (Knighton 1998). Liuennut (dissolved) aines koostuu hyvin hienosta aineksesta, joka kulkeutuu liuoksena vedessä. Liuos yleensä laimenee virtaaman kasvaessa, mutta matalissa virtaamaoloissa siihen vaikuttaa veden hidas kierto alueen maaperässä ja pohjavesivarstoissa. Vaikka liuenneet partikkelit ovat hyvin pieniä, ne muodostavat kuitenkin merkittävän osan veden mukana kulkeutuneesta aineksesta.

Suspendoituneena vedessä kulkeutuu hieman suurempia hiukkasia, kuten silttiä ja savea. Silloin kiintoaine on sekoittunut ja liennut veteen saostumalla. Ne ovat tarpeeksi pieniä partikkeleita kulkeutuakseen veden mukana virtaaman nopeuden mukaisesti, mutta tarpeeksi isoja vajotakseen, mikäli virtausnopeus hidastuu merkittävästi. Suspendoituneen aineksen pitoisuus voi olla hyvinkin suuri, valuma-alueen maapartikkeleiden koosta riippuen.

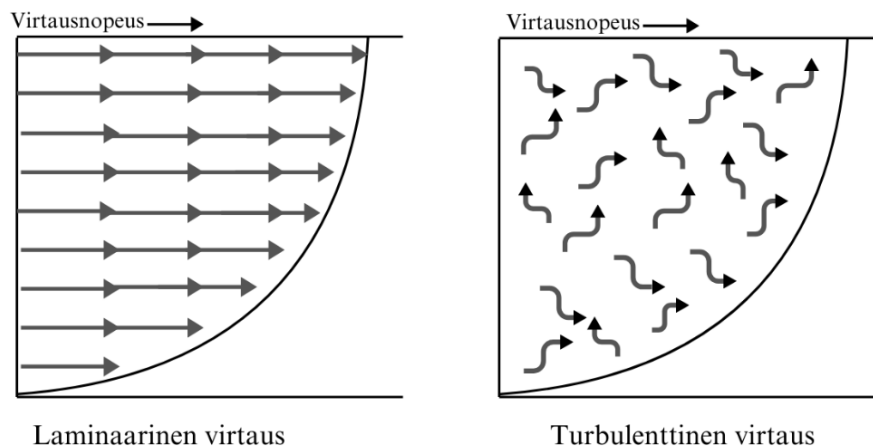
Suurin osa kiintoaineesta on peräisin tulvien ja ojien kuljettamasta, uomasta ja valuma-alueelta erodoituneesta maa-aineksesta (Knighton 1998). Uoman erodoituminen ja maanpinnalta tuleva kiintoainekuormitus voimistuvat sadannan ja sen voimistaman virtaaman kasvaessa (kuva 4). Valuma-alueelta tuleva kuormitus onkin voimakkainta sulamiskauden ja rankkasateiden ensihetkinä, kun kiintoainesta on vielä runsaasti saatavilla ja se kulkeutuu kasvavan virtauksen mukana uomaan.



Kuva 4. Kiintoaineen liikkumisen ja kasautumisen virtausedellytykset (Knighton 1998 mukailen).

Pohja-aineella tarkoitetaan partikkelikooltaan sellaista ainesta, joka on tavallisesti uoman pohjalla (Franti 2016). Seisovassa tai laminaarisessa virtauksessa hiukkasten laskeutuminen pohjaan tapahtuu Stokesin lain mukaan (kuva 5). Turbulenttisessa virtauksessa puolestaan tapahtuu partikkelien liikkumista sekä alas- että ylöspäin. Turbulenttisten pyörteiden mukana virtaukseen noussut hiukkanen etenee alavirtaan, kunnes se laskeutuu virtauksen laantuessa pohjaan. Pohjasta virtauksen mukaan nousevan kiintoaineen määrä riippuu virtauksen turbulenttisuuden voimakkuudesta ja pitoisuuseroista eri kerrosten välillä, sillä hiukkasten konsentraatio kasvaa pohjaa kohti. Pohja-aineen liikkeellelähtö riippuu virtauksen pohjaan

kohdistaman leikkausjännityksen suuruudesta. Kun virtauksen aiheuttama partikkelia eteenpäin siirtävän voiman ja painovoiman suhde ylittää tietyn raja-arvon, yksittäinen hiukkanen lähtee liikkeelle.



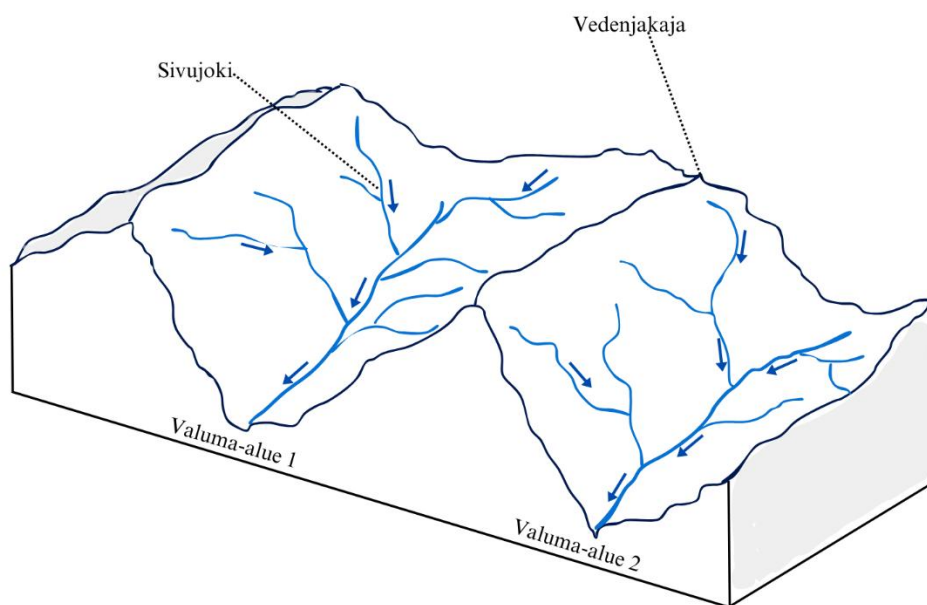
Kuva 5. Lineaarinen ja turbulenttinen virtaus, joiden mukana kiintoaines kulkeutuu virtauksen voimakkuuden mukaan.

Virtausnopeuden hidastuessa veden mukana kulkeutuva kiintoaines alkaa laskeutua (Franti 2016) (kuva 4). Hitaan virtauksen aikana uoman kaarteiden suojasivuille ja suvantoihin kasautuu särkkiä, jotka tulvien aikana voivat lähteä liikkeelle. Joen mukanaan kuljettama kiintoaines voi kasautua myös jokisuille, kuten esimerkiksi Itämeressä. Myös suvantomaisilla osuuksilla ja jokien laskukohdissa yläjuoksulta syöpynyt kiintoaine alkaa laskeutua ja aiheuttaa pohjan liettymistä ja vesisyvyyden vähenemistä myös uomassa. Vesistöjen pohjalle laskeutuneet maahiukkaset muodostavat fosforivaraston, josta hapettomissa oloissa tai resuspension myötä vapautuu liukoista fosfaattifosforia. Tämä pohjasedimenttien uudelleen liukeneminen aiheuttaa rehevöitymistä erityisesti levien käyttöön päästessään. Uomaerosio yhdessä liettymisen kanssa aiheuttavat veden samentumista ja heikentävät maatalousalueiden uomien veden laatua.

2.1.3 Valuma-alueen ominaisuudet

Valuma-alueella tarkoitetaan vedenjakajan rajaamaa maa-aluetta, jonka pintaa pitkin sateena tullut vesi valuu tiettyyn jokeen tai puroon (Ekholm 1993) (kuva 6). Vedenjakajana toimii yleensä suhteellisen korkea kohta maastossa, jonka muodostaman topografisen vaihtelun ansiosta maahan satanut vesi valuu sen sivuja pitkin eri vesistöihin. Suurista valuma-alueista voidaan käyttää nimitystä vesistöalue. Valuma-alueet muodostavat vesistöjä yhdessä erilaisten

uomien ja järvien kanssa. Vedenjakajien, uomien ja järvien muodot määräytyvät maanpinnan muodon ja kallioperän perusteella. Suomessa maanpinnan muotoihin ja valuma-alueiden muodostumiseen on vaikuttanut kallioperän kivilajikoostumus, viimeisin jääkausi sekä maankohoaminen. Lisäksi paikalliset maan rakenteelliset ja laadulliset tekijät sekä ilmasto-olosuhteet vaikuttavat kunkin valuma-alueen kehitykseen. Viimeisen muutaman sadan vuoden aikana myös ihmistoiminta on muuttanut valuma-alueiden luontaisia rajoja ja varsinkin sen uomastoa ja vesistöjä.



Kuva 6. Valuma-alueen rajautuminen pinnanmuotojen mukaan. Sivujoet kuljettavat ainesta pääuomaan, joka laskee lopulta mereen.

Määrittämällä valuma-alueen rajat voidaan vesistöalueita tutkia tarkkaan määritettyinä yksikköinä (Knighton 1998). Koska se on avoin järjestelmä, siinä tarkastellaan aina materiaalien ja energian tulo- ja lähtömääriä. Yleensä valuma-alueella on ainekselle vain yksi lopullinen poistumisreitti uoman suulla. Järjestelmään tuleva vesi on peräisin sateesta, kun taas kiinteä aines on rapautunut valuma-alueelta ja kulkeutuu veden mukana uomassa. Veden ja sedimenttien kulkeutumisessa maan pinnalta kohti merta on ominaista niiden taipumus kasautua ja järjestäytyä alueellisesti. Tämän vuoksi vedessä kulkeva kiinteä aines on tyypillisesti peräisin yläjuoksulta, josta se kulkeutuu hidastuvaa vauhtia kohti alajuoksua, jossa se laskeutuu uoman pohjaan tai suistoon.

Valuma-alueelle tulevasta sateesta vain osa saavuttaa lopulta uomaverkoston (Knighton 1998). Suurin osa vedestä haihtuu matkalla kohti uomaa, ja osa vedestä imeytyy

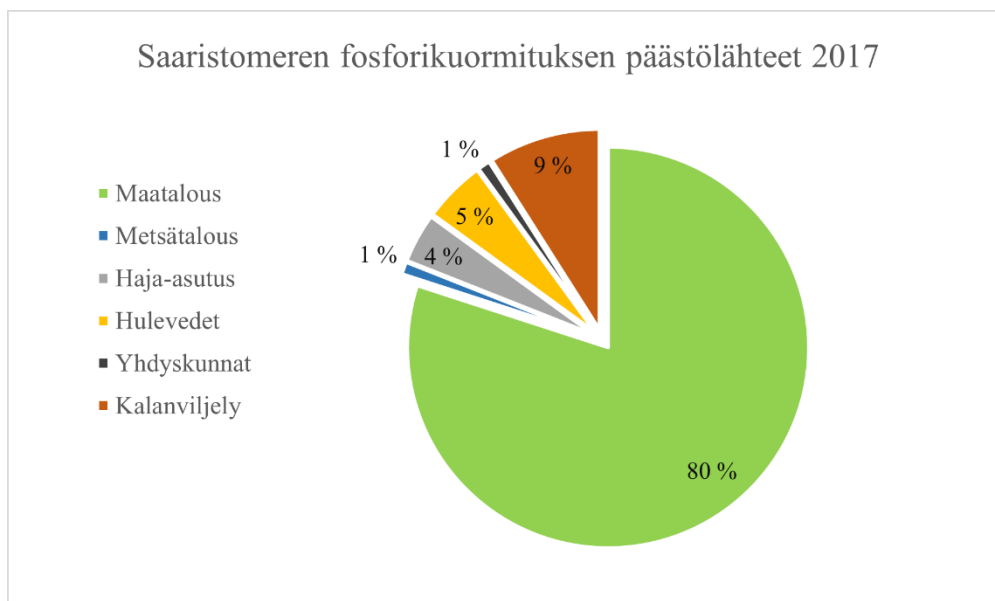
pohjavedeksi. Vain näiden prosessien jäljiltä valuma-alueelle jäänyt vesi vapautuu, yleensä viiveellä, osaksi uoman virtausta. Tätä prosessia kuvataan yleensä hydrografeilla, jossa virtausta ja maaperässä kulkevan veden määrä tarkastellaan erilaisten viiveiden (lag time) ja suhdemuutosten avulla (peak flow rate). Ulosvirtaushydrografilla (Qt) ilmaistaan rinnevastetta ja uomaverkostovastetta, jotka edustavat veden liikettä maalla ja kanavissa. Valuma-alueen koon kasvaessa uomaverkoston vastenopeuden merkitys kasvaa. Suurimmilla valuma-alueilla tärkein muuttuja on matka, jonka veden täytyy kulkea saavuttaakseen uoman, sekä siihen käytettävän verkoston ominaisuudet

2.2 Vesistöjen ravinnekuormitus

2.2.1 Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet

Valtaosa vesistöjen ravinnekuormituksesta syntyy ihmistoiminnan seurauksena valuma-alueella, josta se kulkeutuu jokien mukana järviin ja rannikkovesiin (Raateoja ym. 2015). Valuma-alueelta tuleva ravinnevirta kattaa ihmistoiminnasta aiheutuvan kuormituksen ja ihmistoiminnasta riippumattoman luonnonhuuhtouman. Suomesta päätyi vuosina 2010–2019 Itämereen keskimäärin 3400 tonnia fosforia ja 81000 tonnia typpeä vuodessa (Fleming ym. 2021). Arvion mukaan ihmisen osuus tästä kokonaiskuormituksesta vaihtelee alueittain, mutta keskimäärin 50–75 % kaikesta fosfori- ja typpikuormituksesta on ihmisperäistä.

Luonnontilaisilta maa-alueilta vesistöihin kulkeutuvia ainevirtoja kutsutaan luonnonhuuhtoumaksi, jonka määrästä ei ole tarkkaa tietoa (Tattari ym. 2015). Maankäytöstä ja muusta ihmistoiminnasta aiheutuu lähes aina ravinne- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin. Maa- ja metsätalouden, sekä haja-asutuksen aiheuttama kuormitus on ns. hajakuormitusta, jonka tarkkaa päästölähdettä ei voida paikallistaa.



Kuva 7. Vesistöjen ravinnekuormituslähteet Saaristomerellä vuonna 2017 (Ravinteiden kuormitus Itämereen 2025).

Yhdyskuntien, teollisuuden ja turvetuotannon päästöt ovat ns. pistekuormitusta, jonka lähde ja sijainti ovat yleensä tarkoin määriteltävissä (Tattari ym. 2015). Merkittävimpiä yhdyskuntien päästölähteitä ovat jätevedet ja kaupunkien hulevedet, jotka kulkeutuvat rakennetuilta maa-alueilta sade- ja sulamisvesien mukana vesistöihin. Erityisesti kiintoainespitoisuudet ovat hulevesissä suuria. Tulvien aiheuttamissa poikkeustilanteissa jätevettä voidaan joutua ohijuoksuttamaan käsittelemättömänä suoraan vesistöihin. Teollisuudessa eniten kuormitusta syntyy prosessissa, joissa ei ole suljettua vedenkiertoa. Suomessa merkittävin kuormituslähde teollisuudessa on massan- ja paperintuotanto, jonka tuotantomäärät ovat kuitenkin vähentyneet merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana. Muita merkittäviä kuormituslähteitä ovat lannoitteiden valmistus, kaivosteollisuus, kalanviljely ja turkistarhaus. Rannikkovesien tilaan vaikuttaa lisäksi laivojen jätevesipäästöt, ilmalaskeuma ja Itämeren syvänteistä kumpuavat sisäiset ravinteet (Fleming ym. 2021).

Ravinnekuormituksen päästölähteet ja määrät vaihtelevat alueittain ja vuodenajan mukaan. Kiintoainesfosforin merkitys on erityisesti savialueiden vesistöissä suuri, kun taas kirkkaammassa valumavesissä fosfori on yleensä liuenneena veteen (Uusitalo ym. 2007). Pohjoisimmassa Suomessa kirkkaammassa vesissä fosforikuormituksesta merkittävä osuus painuu laskeumana järviin (Tattari ym. 2015). Fosforin pistekuormitus on yleisesti tyypeä vähäisempää, mutta esimerkiksi Kemijoen alueella se vastaa yli 40 % fosforikuormituksesta. Luonnonkuormitus on Etelä-Suomessa vähäistä ja suurinta pohjoisessa. Haja-asutuksen

fosforikuormitus on typpikuormitusta suurempaa, ja vastaa esimerkiksi Tornionjoen alueella 14 % kokonaiskuormituksesta.

Suurimpien kuormittajien päästöt ovat keskenään hyvin erilaisia. Kuormitus vaihtelee merkittävästi tuotantovaiheen mukaan, ja myös hydrologisilla tekijöillä on suuri vaikutus etenkin maa- ja metsätaloudessa sekä turvetuotannossa (Tattari ym. 2015). Metsätaloustoimenpiteet aiheuttavat ravinteiden ja kiintoaineiden huuhtoutumista pintavesiin, kun hoitotoimien seurauksena alueellinen valunta ja eroosio lisääntyy sekä ravinteiden otto heikentyy. Vesistökuormitusta aiheuttavat etenkin metsän uudistushakkuut, lannoitus ja kunnostusojitus, ja kuormitus on suurinta heti toimenpiteiden jälkeen. Maa- ja metsätalouden toimenpiteitä toteutetaan hyvin laajoilla alueilla, kun puolestaan yhdyskuntien päästöt, kuten hulevedet ja teollisuus aiheuttavat yleensä paikallisempaa vesistökuormitusta. Metsistä kulkeutuu vesistöihin ravinteita ja orgaanista hiiltä niin luonnonhuuhtoumana kuin metsätaloustoimenpiteiden seurauksena (Finér ym. 2020). Lisäksi muuttuvat ympäristöolosuhteet voivat lisätä metsistä tulevaa kuormitusta, ja esimerkiksi orgaanisen aineksen huuhtoutumisprosessit ovat voimistuneet ja aiheuttaneet vesistöjen tummumista pohjoisella pallonpuoliskolla.

2.2.2 Eroosio ja kiintoaineen kulkeutuminen

Eroosiolla tarkoitetaan maa-aineksen irtautumista veden, tuulen tai jään aiheuttamien voimien vuoksi, sekä irtautuneen aineksen kulkeutumista veden tai tuulen mukana (Franti 2016). Se kuuluu tärkeänä osana virtavesien luontaiseen dynamiikkaan. Erodoituvaa ainesta saattaa irrota maa- ja kallioperästä myös pelkästään painovoiman vaikutuksesta, esimerkiksi maanvyöryminä. Eroosion eri muodot voidaankin luokitella niiden syntyvän perusteella; vesieroosio, tuulieroosio, jääeroosio ja painovoimaeroosio. Näistä vesieroosio, joka tapahtuu sateen sekä lumen sulamisen ja niiden aiheuttaman virtauksen takia, ja jaetaan maa-alueella tapahtuvaan ja uomaeroosioon, ja se on tyypillisin eroosion muoto humidisessa ilmastossa. Myös ihminen vaikuttaa eroosion esiintymiseen, esimerkiksi muuttamalla metsää viljelymaaksi, tekemällä avohakkuita, turvetuotannon kautta tai esimerkiksi ylilaiduntamalla maa-alueita. Maatalous onkin merkittävin eroosion aiheuttaja.

Pintavaluntaa syntyy, kun sateen rankkuus ylittää maan kyvyn johtaa vettä tai varastoida sitä maan pinnalle. Suurinta pintaeroosio on silloin, kun rankkasade iskeytyy muokattuun maahan tai maahan, josta kasvillisuus on poistettu (Franti 2016). Pintaeroosio muodostuu vesipisaroiden aiheuttamasta pisaraeroosiosta ja laminaarioosiosta, mikä tarkoittaa, että

kaltevilla pinnalla ohuena kerroksena virtaava vesi irrottaa maahiukkasia mukaansa. Sadepisarat irrottavat ja lajittelevat maapartikkeleita iskeytyessään maahan tai sen pinnalla olevaan ohueen vesikerrokseen. Myös suhteellisen vähäinen, mutta pitkäkestoinen sade voi saada aikaan merkittävää eroosiota, kun esimerkiksi savimaan rakenne heikkenee. Sateen intensiteetin ylittäessä maan infiltraationopeuden syntyy pintavalunta, joka kuljettaa irronneita maapartikkeleita, esimerkiksi lumen sulamisen aikaan. Pellon painaumien välillä kertynyt sadevesi saattaa puolestaan kulkeutua mikrokanavaeroosiona. Pintavalunnan kasvaessa mikrokanavat laajenevat noroiksi, ja maa-aineksen kulkeutumista niissä kutsutaan noroeroosioksi. Syvemmillä maaperässä tapahtuvaa sisäistä eroosiota esiintyy erityisesti savimailla, jotka halkeilevat herkästi ja joilla veden virtaus syvälle maaperään tapahtuu pääasiassa nopeina oikovirtauksina makrohuokosten kautta. Maa-ainesta voi tämän prosessin seurauksena kulkeutua salaoja- tai pohjavesivalunnan mukana merkittävä määrä vesistöihin.

Lumen sulamisen aikaan tapahtuu maa-aineksen irtautumista, kulkeutumista ja sedimentoitumista kuten vesisateenkin aiheuttamassa eroosiossa (Franti 2016). Sulamisaikaan esiintyvä vesisade sulattaa tehokkaasti lumipeitettä ja routaa, ja eroosio voimistuukin selvästi, kun sulava maa paljastuu kokonaan. Keväällä maan vesipitoisuus on sulannan, sadannan ja vähäisen haihdunnan yhteisvaikutuksen takia yleensä hyvin suuri, ja mahdollinen routa voi entisestään lisätä pintavalunnan määrää. Leutoina talvina peltoalueilla on mitattu suurempia eroosiomääriä ja kiintoainepitoisuuksia kuin sellaisina talvina, jolloin lumipeite on pysynyt läpi talven ja sulanut kerralla pois. Leutojen talvien jäätymis-sulamissyklit vähentävät maan lujuutta ja murujen stabiilisuutta tehden sen alttiimmiksi eroosiolle. (Puustinen ym. 2007)

Eroosion aiheuttamat haitat maaperälle ja vesistöille ovat yksi suurimmista maailmanlaajuisista ympäristöongelmista (Franti 2016). Eroosio kuljettaa mukanaan runsaasti ravinteita sisältävää maa-ainesta ja siten köyhdyttää maaperää. Eroosioaineksen mukana pintavesiin kulkeutuu ravinteiden lisäksi torjunta-aineita ja raskasmetalleja, jotka heikentävät veden laatua ja ovat merkittävä uhka vesiekosysteemeille. Eroosioaines voi sedimentoitua pienentää vesialtaiden varastotilavuutta ja siten käytettävissä olevia vesivaroja. Eroosiota voidaan yrittää torjua esimerkiksi uudelleen metsittämällä ja vesiväyliä voidaan ruopata, mutta nämä toimenpiteet vaativat huomattavia taloudellisia panoksia laajoilla alueilla.

Maankäytön lisäksi ilmasto- ja sääolot vaikuttavat merkittävästi eroosion määrään (Franti 2016). Erityisesti sateiden rankkuus, maan pinnan kaltevuus ja kasvipeitteisyys, sekä maalajit

ja viljelykäytännöt vaikuttavat eroosiomääriin. Voimakkainta eroosio on paljaalla maalla ja viljelymaalla, johon on viljely kevätiljaa. Suomessa eroosio aiheutuu vesisateista, lumen sulannasta ja niiden aiheuttamasta pintavalunnasta sekä uomissa tapahtuvasta virtauksesta. Myös alueellisia eroja eroosioherkkyyden suhteen on olemassa. Herkimpiä ovat etenkin Etelä- ja Lounais-Suomen viettävät savipellot, joista todisteena ovat alueiden jokien ja järvien savisameus (kuva 7). Lisäksi alueella on tyypillistä viljellä kevät- ja syysviljaa, joiden kasvumaata on tyypillistä muokata vuosittain. Muokkauksen jälkeen kasvipeitteetön maa on erityisen herkkä eroosiolle ja pintavalunta on suurimmillaan juuri toimenpiteiden aikaan; syksyisin ja keväisin. Keväällä sulavan maan lujuus ja rakenne ovat heikkoja ja maahiukkaset lähtevät helposti liikkeelle pintavalunnan mukana, kun taas syksyllä peltojen muokkaus heikentää maan mururakennetta ja lisää siten eroosioherkkyyttä. Kesäsin puolestaan kasvipeitteisyys ja suuri haihdunta suojaavat maaperää eroosiolta. Pelloilta eroosioainesta kulkeutuu myös salaojavesien mukana, ja niiden kautta tuleva kuorma saattaa olla yhtä suuri tai jopa suurempi kuin pintavalunnan mukana kulkeutuva ravinnekuorma.



Kuva 7. Uskelanjoen peltomaisemaa ja jokilaakso loppupalvella 2021. Kuva: Karoliina Lintunen

Viljelyalueilla tapahtuva vesieroosio on merkittävin eroosion muoto Suomessa, vaikka sitä tapahtuu myös metsätalous-, turvetuotanto- ja kaupunkialueilla (Franti 2016). Valtaosa vuotuisesta kiintoainekuormasta saattaa syntyä vain muutamien päivien aikana, jolloin sääolosuhteet, viljelytoimenpiteet ja maan rakenne muodostavat eroosiolle suotuisan yhdistelmän. Suurimpia eroosiomääriä mitataan keväällä sulamiskaudella ja syksyllä

rankkasateiden aikaan. Maaperän eroosioherkkyys voi kuitenkin vaihdella vuodenaikojä lyhyemmälläkin aikavälillä, esimerkiksi maan kosteuspitoisuuden muutosten seurauksena. Suomessa sateet eivät kuitenkaan usein ole rankkoja ja maaston korkeuserot ovat suhteellisen pieniä, joten eroosion määrä Suomessa on selvästi pienempi kuin monissa muissa maissa. Täällä eroosion aiheuttamat ongelmat liittyvät ensisijaisesti maahiukkasiin sitoutuneen fosforin kulkeutumiseen pintavesiin, sekä pintavesien sameutumiseen ja purojen pohjien liettymiseen.

2.2.3 Ravinnekuormituksen vaikutukset vesistöissä

Kuten monet muutkin vesistöt, Itämeri kärsii liiallisesta ravinnekuormituksesta, joka on pääosin peräisin maataloudesta. Matala, kerrostunut vesialue on erityisen altis, etenkin kun Itämeressä veden viipymä on pitkä eivätkä vesimassat pääse vaihtumaan (Uusitalo ym. 2007). Näihin olosuhteisiin nähden tyypeä ja fosforia kulkeutuu erityisesti jokien välityksellä liikaa, ja Itämeren nykyisen ravinnekuormituksen on arvioitu olevan 4–8 kertainen esiteolliseen aikaan verrattuna. Typpi- ja fosforikuormitus aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä, ja kiintoainekuormitus vesistöjen sameutumista, liettymistä ja umpeenkasvua (Tattari ym. 2015).

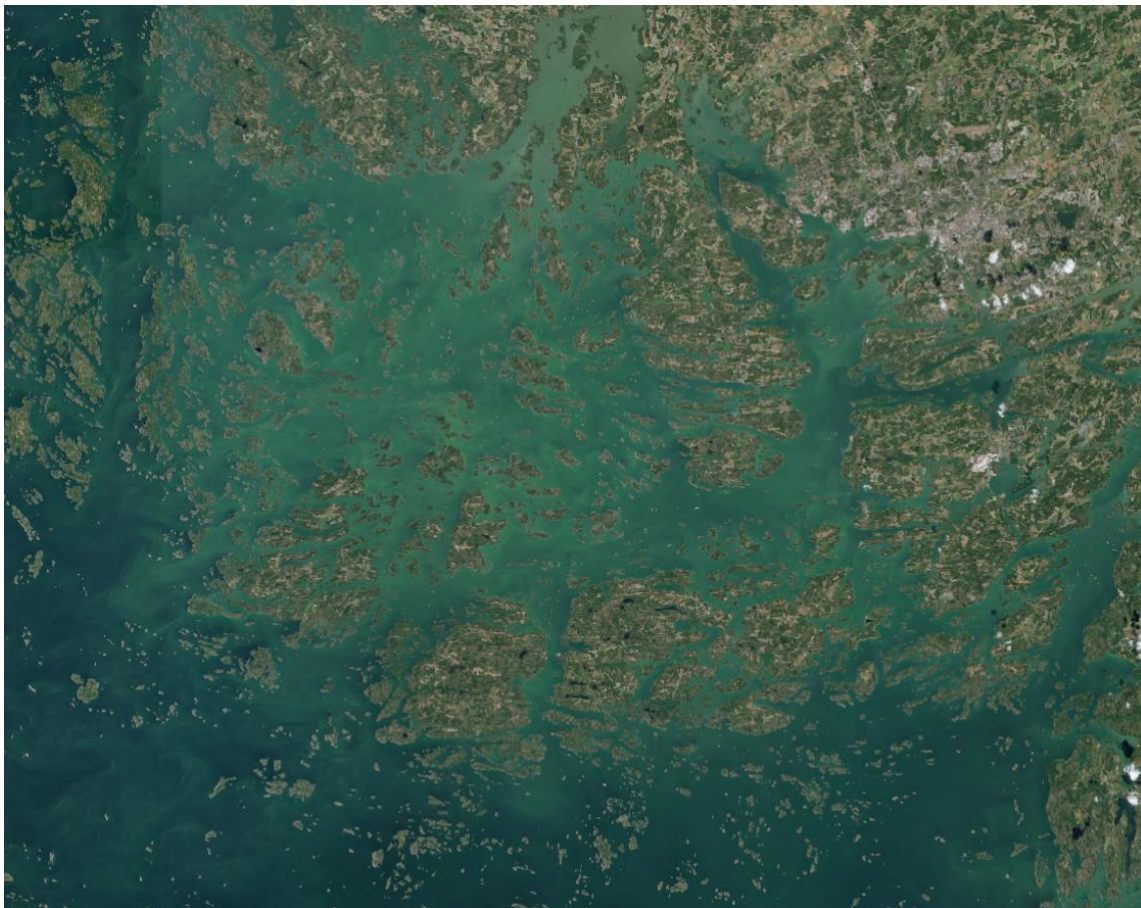
Suomen osuus Itämeren fosfori- ja typpikuormituksesta on hieman alle 15 prosenttia, ja voimakkaimmin vaikutukset kohdistuvat Saaristomereen ja Suomenlahden rannikolle (Uusitalo ym. 2007). Näillä valuma-alueilla valtaosa viljelymaista on erodoituvaa savimaata, ja ravinnekuorma kulkee suurimmaksi osaksi maa-aineksen mukana vesistöihin. Puolestaan esimerkiksi Pohjanmaalla karkeampi ja multavampi viljelymaa ei ole yhtä altis eroosiolle, jolloin siellä suurin kuormitus muodostuu valumaveteen liuenneista ravinteista.

Pohjanlahdella ravinnepitoisuudet ovat pienempiä, sillä Saaristomeren ja vedenalaisten kynnysten muodostama harjanne suojaa eteläisiltä vesimassoilta. Ulkoinen ravinnekuorma Pohjanlahdella on huomattavasti Suomenlahtea pienempi, eikä siellä ole merkittävää sisäistä kuormitusta. Sisäistä kuormitusta aiheuttaa Suomenlahdella esimerkiksi loppukesällä sedimenteistä vapautuvat ravinteet.

Vesistöjä kuormittava fosfori on tyypillisesti liuenneena veteen tai sitoutuneena kiintoaineseen (Uusitalo ym. 2007). Vesien perustuottajat pystyvät suoraan käyttämään liuenneessa muodossa olevia epäorgaanisia ravinteita, mutta kiintoaineksen mukana kulkeutuvista ravinteista pääosa painuu pohjalle. Sittemmin pohjasedimentissä fosfori kuitenkin vapautuu erilaisten prosessien avulla pohjan huokosvedestä pohjan yläpuoliseen

veteen. Pohjasedimentin rautapitoisuus vaikuttaa merkittävästi fosforin sitoutumiseen, sillä hapettomissa pohjasedimentin osissa tapahtuva raudan pelkistyminen vapauttaa hapellisissa oloissa sitoutuneen fosforin. Hapettomuudelle alttiita vesimuodostumia on erityisesti saaristossa (Fleming ym. 2021).

Rehevöityminen aiheutuu liiallisesta ravinnekuormituksesta suhteessa vesitilavuuteen tai rajoitettuun vedenvaihtoon (Raateoja ym. 2015). Itämerellä suolaisuuskerrostuneisuus vaikeuttaa vesipatsaan sekoittumista, mikä heikentää pohjan happioloja ja lisää siten herkkyyttä rehevöityä. Aiempi ravinnekuormitus on varastoitunut syviin vesikerroksiin ja pohjaan, jolloin sisäinen kuormitus tuo aiemman ulkoisen kuormituksen ravinteita pohjasedimentistä takaisin veteen. Rehevöityminen lisää perustuotantoa ja pohjalle laskeutuvan eloperäisen aineksen määrää. Tämä kiihdyttää mikrobiologista hajotustoimintaa ja siten myös hapenkulutusta. Vesistöjen pohjaosien hapettomuus on erityisen haitallista pohjaeläimille, joiden biomassa vähenee nopeasti happipitoisuuden kanssa (Fleming ym. 2021).



Kuva 8. Sentinel-2- satelliittikuva laajoista sinileväkukinnoista Saaristomerellä kesällä 2021 (ESA, Copernicus Sentinel Data 2025).

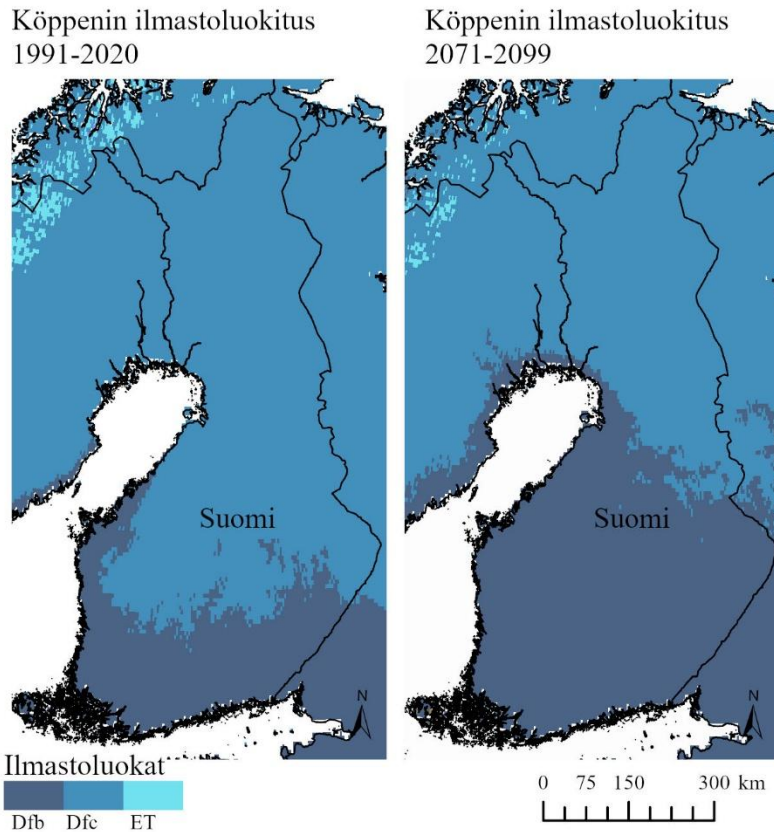
Kuormituksen vaikutuksia arvioitaessa tulisi ottaa huomioon myös ravintoaineiden kyky pidättyä tai kulkeutua sisävesillä, esimerkiksi kalasaaliin mukana tai sedimentaation ja denitrifikaation kautta (Pietiläinen 2008). Kuormitus ei välttämättä aiheuta rehevöitymistä vesistöalueen yläosissa, mutta se voi olla minimiravinne alajuoksulla tai laskualtaassa. Esimerkiksi monet eteläisen Suomen pienet rannikkojoet tai vähäjärviset vesistöalueet eivät pidätä typpeä ja fosforia juuri lainkaan. Ennen meriin päätymistä typen pidättymistä tapahtuu eniten järvissä, ja etenkin pitkäviipymäisissä järvissä orgaaninen aine, typpi ja fosfori sedimentoituvat ja sitoutuvat pohjaan. Kuitenkin kevät- ja syystulvien aikana pidättymisprosessit ovat heikkoja, ja uomien pohjiin sedimentoitunut typpi voi lähteä uudelleen liikkeelle voimakkaiden virtaamien mukana.

2.3 Ilmastonmuutos

2.3.1 Ilmastonmuutos Etelä-Suomessa

Kasvihuonekaasujen pitoisuuden lisääntymisen aiheuttama globaali keskilämpötilojen nousu tulee vaikuttamaan myös Suomen ilmasto-olosuhteisiin. Vaikutukset ovat jo nyt havaittavissa, sillä vuoden 1847 tasoon verrattuna keskimääräinen lämpötila on noussut jo noin kahden asteen verran (Ruosteenoja ym. 2016). Suomessa lämpötila on siis noussut 0,14 astetta vuosikymmenessä, mikä on lähes kaksi kertaa nopeammin kuin keskimäärin globaalisti. Lämpeneminen on tapahtunut kahdessa jaksossa, vuosien 1850 ja 1930 välillä, sekä vuodesta 1960 nykypäivään. Erityisesti talvi- ja kevätkuukaudet ovat lämmenneet vuosittaista keskiarvoa voimakkaammin.

Lämpötilan nousu ja sademäärien lisääntyminen vaikuttaa olevan nopeampaa maan pohjois- kuin eteläosissa (Jylhä ym. 2009). Alueellista eroa suurempi on kuitenkin ero kesän ja talven välillä, sillä vaikka muutoksia on odotettavissa kaikkina vuodenaikoina, ne ovat talvella selvästi kesää voimakkaampia. Sademäärän kasvu nykyisestä on talvella 20–30 %, kun vastaava muutos on kesäaikaan vain 0–10 %. Puolestaan lämpötilan ennustetaan nousevan talvella 4–7 astetta, ja kesällä 3–4 astetta. Köppenin ilmastoluokituksen mukaan Etelä-Suomessa tällä hetkellä vallitseva lauhkea Dfb-luokan ilmastoalue leviäsi jopa Oulun korkeudelle vuoden 2071 ennusteen mukaan (Beck ym. 2023) (kuva 9). Nykyinen yleisin kylmätalvisen Dfc-ilmastoluokan raja siirtyisi vuosisadan loppuun mennessä Pohjois-Pohjanmaan korkeudelle.

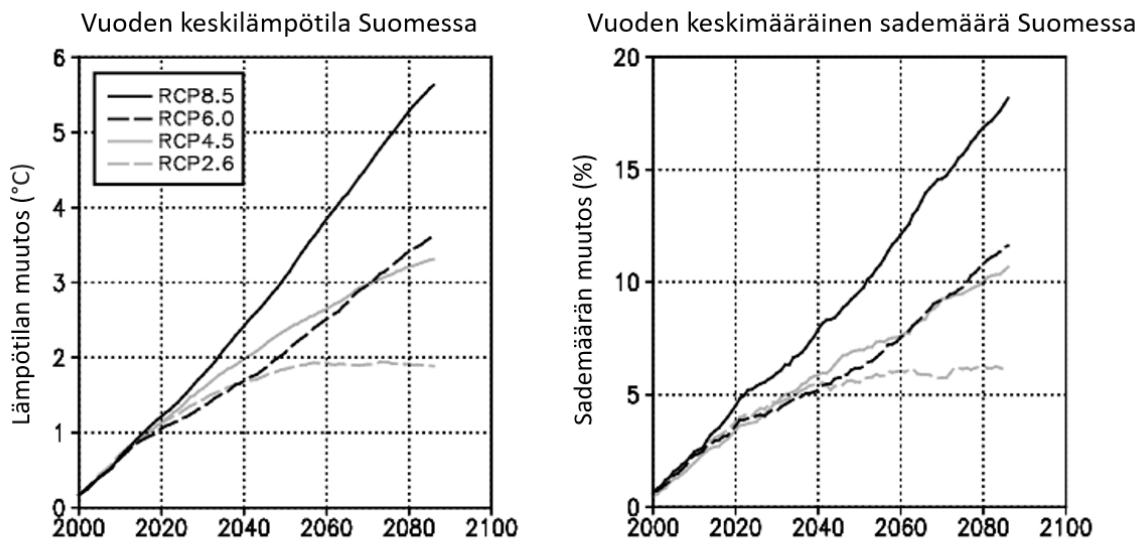


Kuva 9. Suomen ilmastoluokitukset vuosina 1991–2020 ja 2071–2099 Köppenin luokituksen mukaan (Beck ym. 2023).

Ilmastoskenaariot antavat jonkin verran toisistaan poikkeavia arvioita ilmastonmuutoksen aiheuttamasta lämpötilan noususta ja sadannan muutoksesta (Veijalainen ym. 2012). Tämä johtuu erilaisten päästöskenaarioiden, ilmastomallien ja mallien lähtöoletuksista. Myös ilmaston luonnollinen vaihtelu aiheuttaa epävarmuutta. Kuitenkin kaikkien RCP-kasvihuonekaasuskenaarioiden (Representative Concentration Pathways) mukaan Suomen keskilämpötila ja sademäärät tulevat kasvamaan seuraavien parin vuosikymmenen aikana (Ruosteenoja ym. 2016). Ennusteet vuosisadan loppua kohti kuitenkin vaihtelevat eri skenaarioiden välillä (kuva 10).

Pahimman skenaarion (RCP 8.5) mukaan Suomen keskilämpötila voisi nousta 2080-luvun loppuun mennessä jopa 4 astetta, kun taas optimistisimmassa ennusteessa (RCP 2.6) nousu jäisi vain noin yhteen asteeseen (Ruosteenoja ym. 2016). On siis hyvin todennäköistä, että lämpötila tulee nousemaan ainakin noin asteen verran tulevien vuosikymmenten aikana, ilmastonmuutoksen hillitsemistoimista huolimatta. Myös keskimääräiset sademäärät tulevat todennäköisesti lisääntymään tulevien vuosikymmenten aikana vähintään 2 % nykyiseen

verrattuna. RCP 8.5 skenaario ennustaa jopa lähes 15 % kasvua sademääriin 2080-luvun loppuun mennessä (kuva 10).



Kuva 10. Kasvihuonekaasuskenaariot Suomessa (Ruosteenoja ym. 2016 mukailen). Eri skenaarioiden (RCP) ennustetaan nostavan lämpötilaa ja sademäärää Suomessa eri tavoin, ja pahimman RCP8.5-skenaarion mukaan lämpötila nousisi nykyisestä yli 4 astetta ja sademäärät kasvaisivat yli kaksinkertaisiksi.

Sademäärän muutosten ennustaminen on vaikeampaa kuin lämpötilan. Vielä lähivuosikymmeninä muutokset voivat hukkuu ilmastollisen vaihtelun sekaan. Arvioiden mukaan sateet kuitenkin lisääntyvät, erityisesti talviaikaan (Jylhä ym. 2009). Vuosisadan lopulla talvikuukausina sataisi reilu 20 % enemmän, kuin vuosisadan alussa. Tämä johtuu sadepäivien yleistymisestä ja yksittäisten sadekuurojen voimistumisesta. Kesällä rankkasateet yleistyvät, ja yhdessä hellejaksojen kanssa kesäisin saattaa vaivat vuoroin kuivuus, vuoroin rankkasateet. Ilmaston lämmitessä sateiden jakautuminen vuodenaikojen mukaan säilyy kuitenkin ennallaan, ja sademäärät ovat edelleen kesällä talvea suurempia. Myös sateiden alueellinen jakauma säilyy nykyisenkaltaisena, ja sateisimmat alueet pysyvät entisillä paikoillaan. Lämpötilan ja sademäärän muutokset vaikuttavat myös lumikertymään. Ilmaston lämmitessä lumen vesi-arvo pienenee ja lumipeite kutistuu, erityisesti Etelä-Suomessa. Lumi myös todennäköisesti sataa myöhemmin syöksyllä ja sulaa nykyistä aikaisemmin keväällä.

2.3.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologisiin prosesseihin

Suomen ilmasto-olosuhteet ja hydrologiset olosuhteet kulkevat vuodenaikojen syklissä. Erityisesti lumikertymä on tärkeä osa pohjoisten ilmasto-olosuhteiden hydrologisissa prosesseissa (Veijalainen ym. 2010). Talvella esimerkiksi jokien virtaamat pienentyvät, kun lämpötila laskee ja vedenpinta jäätyy. Tyypillisesti keväällä lämpötila nousee ja sulattaa talven aikana valuma-alueelle kertyneen lumen, kasvattaen valuntaa ja virtaamaa runsaasti (Lintunen ym. 2024). Kesän kasvukaudella vesimäärä vähenee, yleensä lisääntyneen haihdunnan seurauksena. Kasvukauden päätyttyä virtaamat ja valunta kasvaa jälleen. Keskimäärin puolet sadannasta päätyy valuntana vesistöihin, kun loput haihtuvat kokonaihaihduntana kasveista ja maanpinnalta tai varastoituu.

Ilmastonmuutos vaikuttaa kasveista ja maasta tapahtuvaan haihduntaan, kun lämpötila nousee ja maankosteus vähenee (Veijalainen ym. 2012). Suomen ilmastossa haihdunta kasvaa seuraavien vuosikymmenien aikana noin 10 %, ja siihen vaikuttaa myös auringon säteily, ilman kosteus ja tuulen nopeus. Puolestaan lumen määrän muuttuminen on yksi keskeisimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa. Lumen määrä vähenee koko maassa, mutta eniten Etelä-Suomessa. Lumipeitteen kesto lyhenee ja runsaslumisten talvien määrä vähenee etenkin maan eteläosissa. Pohjoisessa Suomessa lumimäärän väheneminen ei ole niin voimakasta ja nopeaa, mutta vähälumiset talvet tulevat yleistymään huomattavasti.

Kasvavan haihdunnan vuoksi valunnan määrä kasvaa sadannan kasvua vähemmän (Veijalainen ym. 2012). Haihdunnan vaikutus on maan pohjoisosissa vähäisempää, joten valunta kasvaa etenkin Pohjois-Suomessa. Suhteellisesti suurin valunnan kasvu on talvikuukausina ja pohjoisemmassa Suomessa myös keväisin. Puolestaan kesän valunnat pienenevät, etelässä maaperän kuivumisen takia ja pohjoisessa kevättulvien aikaistumisen myötä.

Muuttuvat ilmasto-olosuhteet voivat vaikuttaa jokiprosesseihin monella tapaa. Valuma-alueen ja uomaverkoston ominaisuuksista ja sijainnista riippuen ilmastonmuutos voi lisätä tulvia tai toisaalta vähentää virtaavan veden määrää (Veijalainen ym. 2010). Muutokset lämpötiloissa ja sademäärissä vaikuttavat koko valuma-alueen valuntamäärään ja esimerkiksi lumikertymään. Jokien virtaamien muutokset ovat keskeisiä arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia hydrologiseen kiertokulkuun, sillä virtaamat ovat vahvasti sidoksissa sateisiin, haihtumiseen ja vesivarastojen muutoksiin koko valuma-alueella (Lintunen ym. 2024). On ennustettu, että Suomen ja muiden Euroopan pohjoisosien jokien virtaamat vähenisivät 10–40

% vuosisadan loppuun mennessä, erityisesti lumikertymän vähenemisen takia (Dankers & Feyen 2008). Toisaalta Etelä- ja Keski-Suomessa virtaamien on havaittu kasvaneen viime vuosikymmeninä etenkin talvikaudella, kun talvien keskilämpötilat ovat nousseet (Lintunen ym. 2024).

Keskilämpötilan nousun on ennustettu aiheuttavan kuivuutta kesällä ja alkusyksystä, ja erityisesti Etelä- ja Keski-Suomessa vähimmäisvirtaamat pienentyvät (Veijalainen ym. 2019). Lumensulamiskauden ulkopuolella tulvien on arvioitu lisääntyvän voimistuvien sademäärien seurauksena, kun perinteiset keväiset sulamistulvat aikaistuvat ja heikentyvät lämpötilan noustessa. Tulevaisuudessa kevättulvat ovat pienempiä, talven virtaamat suurempia ja pidemmät kesät lisäävät kuivuusriskiä (Veijalainen ym. 2012). Puolestaan syksyn virtaamahuiput ovat siirtyneet myöhemmäksi. Lintusen ym. (2024) tutkimuksessa arvioidaan, että syynä on lumisateen alkamisen myöhäistyminen ja toisaalta yksittäisten sadetapahtumien voimistuminen loppusyksystä ja alkutalvesta.

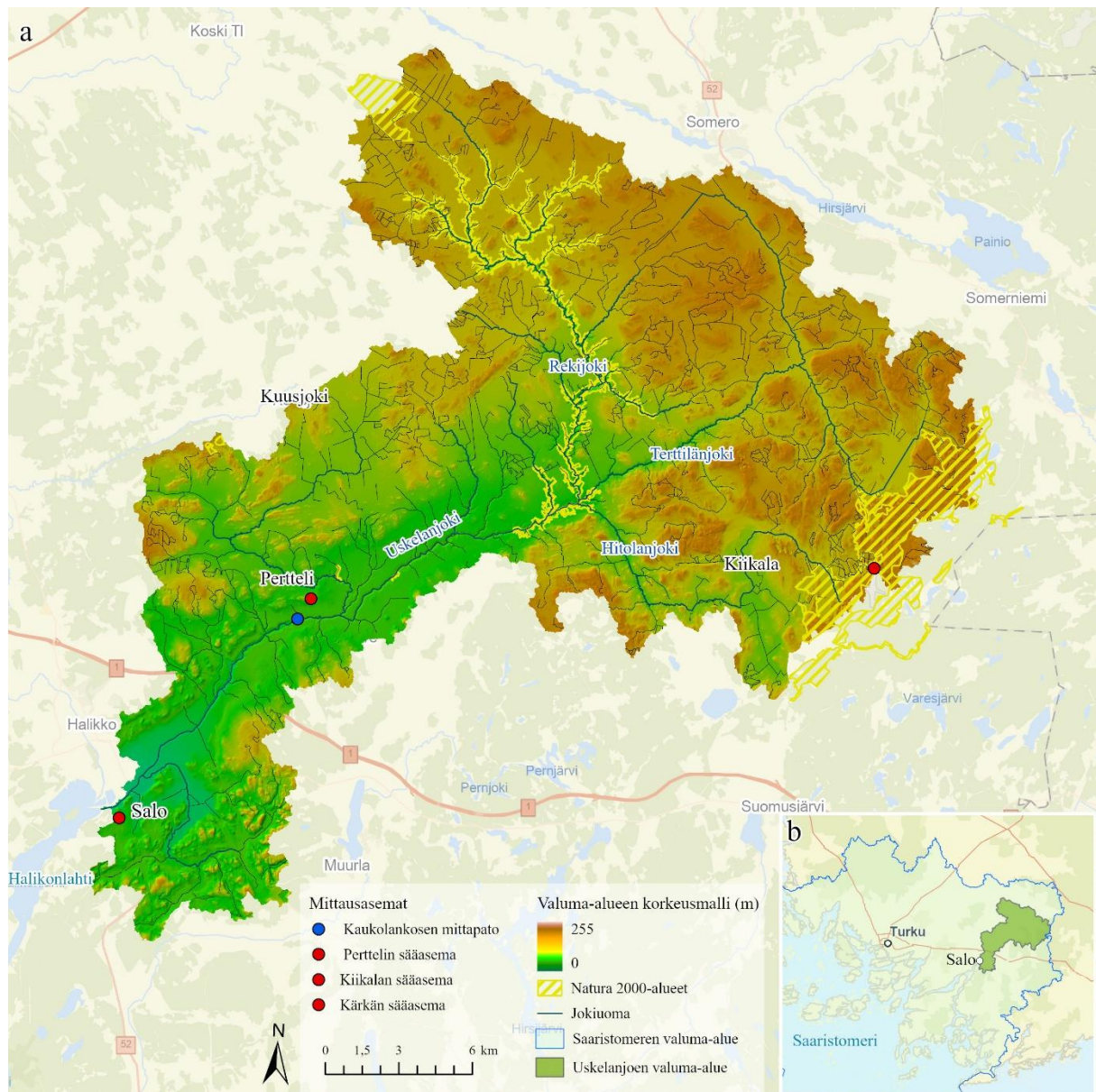
Muutokset talven virtaamissa ja vedenkorkeuksissa ovat suurimpia Etelä- ja Keski-Suomessa, kun taas Pohjois-Suomessa luminen talvi säilyy pidempään (Veijalainen ym. 2012). Jo lähivuosikymmeninä hydrologiset muutokset ovat selkeitä eteläosissa maata, kun taas Pohjois-Suomessa hydrologiset muutokset ilmenevät vasta myöhemmin ilmaston lämpenemisen edetessä. Esimerkiksi hyydetulvien riski kasvaa Etelä- ja Keski-Suomessa talven virtaamien kasvaessa ja jääkannen synnyn myöhentyessä. Ilmastonmuutos vaikuttaa myös pohjaveden pinnankorkeuden muutoksiin. Talven lyhenemisen seurauksena pinnankorkeudet nousevat ja toisaalta kevään aikaistumisen myötä pinnat alenevat loppukesällä.

3 Tutkimusalueen kuvaus

Varsinais-Suomessa sijaitseva Uskelanjoki on säännöstelemätön joki, jonka valuma-alue sijaitsee Salon kaupungin ja Someron kunnan alueilla (kuva 11). Se saa alkunsa Rekijoesta, Terttilänjoesta ja Hitolanjoesta, ja ne muodostavat yhdessä Uskelanjoen vesistöalueen, joka on pinta-alaltaan 566 km² (VARELY 2011). Hitolanjoen ekologinen tila on luokiteltu hyväksi, mutta muiden alueen jokien tila välttäväksi (VARELY 2015). Alueella sijaitsevan Halkjärven ekologinen tila on huono. Myös Halikonlahti, johon Uskelanjoki laskee, on sisäosiltaan luokiteltu huonokuntoiseksi. Vesistöalueella on hyvin vähän järviä, ja ne keskittyvät aivan alueen itäosaan, jossa valuma-alue rajautuu Karjaanjoen vesistöalueeseen ja etelässä sijaitsevaan Kiskonjoen-Perniönjoen vesistöalueeseen (VARELY 2011). Pohjoisessa Uskelanjoen vesistöalue rajautuu Paimionjoen vesistöalueeseen ja lännessä Halikonjoen vesistöalueeseen. Vesistöalue on topografialtaan melko korkeaa, ja puolet alueesta onkin 80 metrin korkeustason yläpuolella. Vain alle viidesosa alueesta on alle 50 metrin korkeudessa.

Uskelanjoki on yksi Suomen päävesistöalueista, ja se kuuluu Kokemäenjoen, Saaristomeren ja Selkämeren vesienhoitoalueeseen (Järviwiki 2025). Uskelanjoen vesistöalue on yksi kahdeksasta Saaristomereen laskevasta päävesistöalueesta, jotka muodostavat yhdessä Salosta Kustaviin saakka ulottuvan rannikkovesialueen kanssa Saaristomeren valuma-alueen (kuva 11) (Kipinä-Salokannel 2016). Alueen sadantamääriä on seurattu yli 50 vuoden ajan, ja vuotuinen sadantasumma on ollut keskimäärin 621 mm, ja vaihdellut 455–755 mm:n välillä (VARELY 2015). Joen keskivirtaama (MQ) on aikasarjan mukaan 5,4 m³/s, alivirtaama (NQ) 0,1 m³/s ja ylivirtaama (HQ) 140 m³/s.

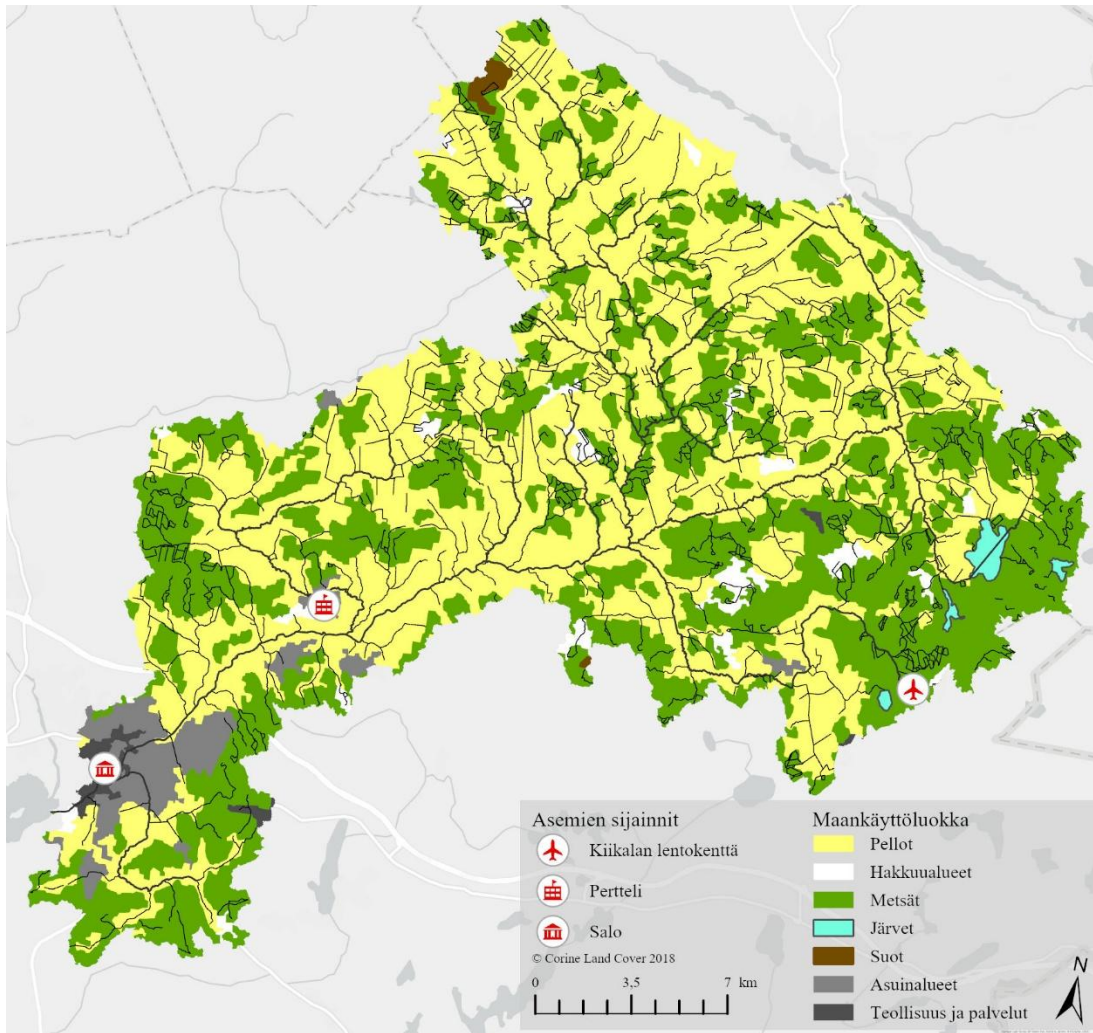
Uskelanjoen vesistöalueella sijaitsee kaksi Natura 2000-suojelualuetta: Rekijokilaakso ja Hyppärän harjualue (VARELY 2011) (kuva 11). Natura-alueilla on suuri luonnonsuojelullinen merkitys niillä esiintyvien, suoraan vedestä riippuvaisten luontotyyppien ja lajien kannalta. Nämä alueet ovat otettu huomioon myös alueen vesienhoitosuunnitelmassa. Hyppärän harjualue on noin 2 500 ha kokoinen pienvesialue, ja Rekijokilaakso kattaa noin 1000 ha kokoisen jokireitin. Lisäksi vesistöalueella on 85 pohjavesialuetta ja 18 toiminnassa olevaa vedenottamoita. Salon keskusta on maa- ja metsätalousministeriön päätöksellä nimetty valtakunnallisesti merkittäväksi tulvariskialueeksi (VARELY 2015). Näin ollen Uskelanjoen alueelle on laadittu myös tulvariskien hallintasuunnitelmat ELY-keskuksen toimesta. Salon kaupungin halki Uskelanjoki virtaa rakennetussa uomassa, josta se laskee Halikonlahteen.



Kuva 11. Kartta tutkimusalueesta ja sen ominaisuuksista. a) Tutkimusalue rajautuu Uskelanjoen valuma-alueen rajojen mukaan, ja uomaverkosto kattaa myös Rekijoen, Terttilänjoen ja Hitolanjoen sivujoet. Varsinainen Uskelanjoki alkaa näiden yhtymäkohdassa Perttelin kylässä, Illinkosken jälkeen. Pienet sivuhaarat koostuvat Kuusjoesta, Kurajoesta sekä Vähäjoesta. Alueen korkeuserot vaihtelevat jokilaakson ja suiston merenpinnan korkeudesta yli 250 metrin yläpuolella sijaitseviin yläköihin tutkimusalueen pohjoisosassa. Rekijoen laaksoon, sekä tutkimusalueen itäreunaan on merkitty alueen Natura 2000-suojelualueet. b) Tutkimusalueen sijainti Salon ja Someron kuntien alueella Varsinais-Suomessa osana laajempaa Saaristomerens valuma-aluetta. Paikkatietoaineistot: Maanmittauslaitos 2023; SYKE 2023; SYKE 2012

Valuma-alueen maaperän merkittävin maalaji on savi, joka on etenkin jokilaaksossa tyypillisesti ainoa havaittu maalaji (Maankamara 2025). Korkeammissa maastonkohdissa pintamaan alla on yleensä kalliomaata, sekä sekalajitteista moreenia. Kiikalan lentokentän ympäristössä esiintyy karkeasta lajitteesta muodostuneita tasankoja. Uskelanjoen vesistöalueen maankäytön merkittävimpiä muotoja ovat metsä- ja maatalousmaat (kuva 12 ja 13), ja vain noin kymmenen prosenttia alueesta on rakennettua (VARELY 2011). Valuma-

alueesta jopa 44 % on peltoalaa (VARELY 2015). Merkittävimmät taajamat Salo, Pertteli ja Kiikala ovat kehittyneet hyvien kulkuyhteyksien vuoksi vesistöjen äärelle. Rakennetut alueet keskittyvät Uskelanjoen alaosan alueelle, kun taas maatalouskäytössä on eniten maata Rekijoen, Terttilänjoen ja Kurajoen valuma-alueella.



Kuva 12. Uskelanjoen valuma-alueen tärkeimmät maankäyttöluokat, jotka on muodostettu vuoden 2018 Corine Land Cover-maanpeiteaineistoon perustuen. Kartassa on lisäksi esitetty säähavaintoasemien paikat, sekä Uskelanjoen uomasto. Paikkatietoaineistot: SYKE 2018; SYKE 2012

Uskelanjoen vesistöalueen vesi on runsaan hajakuormituksen takia savisameaa ja runsasravinteista (Kipinä-Salokannel 2016). Maatalous on alueen vesien suurin ravinnekuormittaja, mutta sen lisäksi vesistöjen tilaa heikentävät haja-asutuksen kuormitus ja taajamien jätevesikuormitus. Jätevesikuormituksen vaikutus on suuri erityisesti Uskelanjoen yläosassa Terttilänjoen vesimuodostumassa, jonne lasketaan Someron puhdistamon jätevedet. Teollisuuden aiheuttamaa kuormitusta on lähinnä vain Uskelanjoen alaosassa ja sen vaikutukset kohdistuvat pääasiassa Halikonlahteen. Havaitut ravinnepitoisuudet ovat

suurimpia yläjuoksulla Terttilänjoen sivujoessa Mustjoessa, mutta myös Uskelanjoen alaosan pääuomassa ja sivujoessa Rekijoessa.



Kuva 13. Uskelanjoen valuma-alueella merkittävä maankäyttömuoto on maatalous. Kuva: Mandi Hannula 2024

Uskelanjoen savimaasta koostuva vesistöalue on hyvin tyypillinen Saaristomeren osavaluma-alue, jossa maatalouskäytössä on maata enemmän kuin muualla Suomessa keskimäärin (Kulmala 2024). Saaristomeren valuma-alueen pinta-alasta jopa 28 % on peltoa, ja Varsinais-Suomen tiloista 80 %:lla on päätuotantosuuntana viljanviljely tai muu avomaan kasvintuotanto. Kasvintuotanto on monipuolista, mutta sille on tyypillistä yksivuotisten kasvien viljely, jolloin talviaikaan pelloilla ei ole kasvipeitettä. Saaristomereen tuleva vuotuinen kokonaisfosforikuormitus oli vuosina 2014–2023 keskimäärin 450 t, ja peltohehtaaria kohti fosforia huuhtoutui 1,3 kg. Muutama prosentti valuma-alueella huuhtoutuneista ravinteista pidättyy sisävesiin, mutta merkitys on suhteellisen pieni alueen vähäjärvisyyden takia. Saaristomeren valuma-alueella keskimääräinen vesieroosiomäärä pelloilta oli noin 390 kg/ha/v. Kokonaiskuormitus on korkeinta Uskelanjoen valuma-alueella (yli 51 000 tonnia vuodessa), mitä selittää suuri peltoala ja korkea hehtaarikohtainen kuormitus (noin 600 kg/ha/v).

4 Aineistot ja menetelmät

4.1 Aineistot

4.1.1 Uskelanjoen vedenlaatuhavainnot

Vedenlaatuhavainnot on saatu Varsinais-Suomen ELY-keskuksen hallinnoimasta automaattivesimittaridatasta, joka sisältää vedenlaatuhavainnot Uskelanjoen alajuoksulta Salon keskustasta (Soirinsuo 2024). Havaintoasemalla on käytössä SCAN Nitrolyser-mittari, joka havainnoi 2 mm valotien pituudella. Käyttämällä kalibraatioyhtälöä, mittaridatan avulla lasketaan seuraavat suureet: kokonaisfosfori, kiintoaineen määrä ja kokonaistyyppi. Kokonaisfosforipitoisuus tuotetaan kalibraatioyhtälöllä sameushavainnoista. Aineiston kokonaisfosforin ($\mu\text{g/l}$) hetkellishavainnot on tehty puolen tunnin välein. Käytettävä mittausmenetelmä saattaa hetkellisesti häiriintyä, mikäli havainnoitava vesi on liian sameaa. Tällöin nitraattitypen lukeminen estyy, ja esimerkiksi fosforiarvot saattavat vääristyä. Tällaiset virheet voidaan pyrkiä havainnoimaan poikkeuksellisten fosforipiikkien yhteydessä, mikäli samaan aikaan nitraattitypen arvot ovat hyvin matalia.

Talvien 2019–2020 ja 2023–2024 ajalta fosforihavainnot olivat hyvin kattavia, sillä aineisto sisälsi hetkittäishavainnot tunnin välein. Hetkittäishavaintojen avulla aineistosta laskettiin vuorokauden keskiarvoinen fosforipitoisuus. Vertailukauden 2003–2024 ajalta Suomen ympäristökeskuksen (2024) tietokannasta ladatut aineistot sisälsivät jokaisen päivän keskimääräisen fosforipitoisuuden, joten myös tämä aineisto oli tutkimuksen tarpeisiin nähden kattava.

4.1.2 Uskelanjoen hydrologiset havainnot

Hydrologiset havainnot ovat peräisin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Varsinais-Suomen ELY-keskuksen tuottamista avoimista aineistosta, jotka ovat ladattavissa Herttatietojärjestelmästä (Suomen ympäristökeskus 2024). Uskelanjoesta saatavat virtaama-aineistot ovat peräisin Kaukolankosken mittapadolta, joka sijaitsee noin 9,5 kilometriä Salon keskustasta ylävirtaan (kuva 11). Työssä käytetään virtaaman (m^3/s) päivittäisiä havainnot. Havaintopaikalla virtaama määritetään purkautumiskäyrän avulla laskennallisesti vedenkorkeushavainnoista

Kaukolankosken mittapato sijaitsee Salon kunnassa, ja se on ollut käytössä vuodesta 1970 alkaen. Mittausasema mittaa vedenkorkeutta, ja tuottaa laskennallisesti purkautumiskäyrän

avulla virtaama-arvon muodossa m³/s. Aineisto kattaa hyvin tutkimusajanjaksot vuosina 2019–2020 sekä 2023–2024, eikä niistä löydy suuria puutteita.

4.1.3 Uskelanjoen valuma-alueen säähavainnot

Säätilan tarkastelussa käytetään Ilmatieteen laitoksen (2024a) sekä Nordic Weatherin (2025) tuottamia säähavaintoaineistoja. Aineistot ovat kaikille avoimia ja ladattavissa Ilmatieteen laitoksen latauspalvelusta tai Nordic Weatherin havaintosivuilta. Tutkimuksessa käytetään Salossa sijaitsevien Kärkän, Kiikalan ja Perttelin sääasemien havaintoja. Kärkän sääasema sijaitsee Uskelanjoen alajuoksulla, Salon keskustassa. Perttelin asema sijaitsee noin 13 kilometrin päässä Salon keskustasta, Uskelanjoen varrella ja Kiikalan sääasema Hiitolanjoen yläjuoksulla, noin 40 kilometrin päässä Salon keskustasta (kuva 12).

Kärkän asema sijaitsee puiden, pensaiden ja matalien rakennusten suojaamalla tehdasalueen pihalla (Ilmatieteen laitos 2024b). Salon kaupunkialue sijaitsee välittömässä läheisyydessä aseman koillispuolella. Asema sijaitsee Salonjoen-Uskelanjoen laaksossa laajojen aukeiden peltojen ympäröimänä. Kiikalan asema puolestaan sijaitsee Kiikalan lentokentän etelä-pohjois suuntaisen kiitotien länsireunalla. Aseman sijainti kolmannen Salpausselän tasankopinnalla tarkoittaa, että lähiympäristö on kuivaa mäntymetsää, mutta muutoin ympäristö on enimmäkseen seka- ja kuusimetsäistä kalliomaastoa. Kiikalan taajama on 5 km päässä lännessä ja Someron kaupunkikeskusta 19 km päässä pohjoiskoillisessa. Perttelin sääasema on yksityisomisteinen, eikä sen tarkasta sijainnista ole saatavilla tietoja.

Tutkimuksen kannalta oleelliset havaintosuureet ovat päivittäinen ja kuukausittainen ilman keskilämpötila ja sademäärä, sekä hetkellinen lumensyvyys. Lisäksi vertailukausien tarkastelua varten ladattiin erikseen kuukausittaiset sadesummat ja keskimääräiset kuukausittaiset lumensyvyydet. Vuorokauden keskilämpötila perustuu tyypillisesti 4 tai 8 havaintoon per vuorokausi. Kuukauden keskilämpötila on vuorokauden keskilämpötilojen keskiarvo. Sademäärällä tarkoitetaan vuorokauden aikana kertyneen sateen määrä millimetreinä (lumisateen tapauksessa vedeksi muutettuna). Tilastoitava lumensyvyys mitataan aamulla klo 8 paikallista aikaa. Arvo -1 = ei lunta, arvo 0 = havaintoasemalla ei ole lunta, mutta sen ympäristössä aukealla on.

Vertailukauden 2003–2024 ajalta kuukausittaiset säähavainnot (sadesumma ja keskilämpötila) ovat pääosin peräisin Kärkän asemalta, mutta talvien 2007–2013 välillä sadeaineistoissa oli

puutteita. Näin ollen joulukuun, tammikuun ja helmikuun sadesummat em. vuosilta ovat peräisin Perttelin sääaseman kuukausihavainnoista. Muuten talvikuukausien keskilämpötila laskettiin Kärkän päivittäisistä havainnoista. Lumensyvyyshavainnot Kärkän havaintoasemalla ovat loppuneet vuonna 2007, joten myöhemmät päivittäiset lumensyvyyshavainnot ovat peräisin Kiikalan sääasemalta. Kuitenkaan edes Kiikalan sääasemalta ei ollut saatavilla lumensyvyyshavainnoita vuosilta 2007–2011, joten näiltä vuosilta lumensyvyysaineistossa on aineistossa aukko.

4.2 Menetelmät

4.2.1 Tilastollisten tunnuslukujen laskeminen

Suomen sääasemien sääaineistot ladattiin ilmatieteenlaitoksen säähavaintojen latauspalvelusta CSV-muotoisina taulukoina. Tallennettaviksi suureiksi valittiin ilman lämpötila, lumensyvyys ja sademäärä (taulukko 1). Taulukoihin lisättiin sarake päivämäärälle, sillä ladatussa taulukossa vuosi, kuukausi ja päivä olivat eri sarakkeissa. Nämä sarakkeet jätettiin kuitenkin taulukkoon analyysivaihetta varten. Muut ylimääräiset sarakkeet poistettiin. Sateettomille ja lumettomille päiville oli annettu arvoksi -1 ja alle 0,1 cm lumensyvyydelle ja alle 0,1 mm sademäärälle arvoksi 0. Sateettomien ja lumettomien päivien -1 arvot poistettiin ja solut jätettiin tyhjiksi.

Vertailukauden 2003–2023 ajalta laskettiin talvikuukausien päivittäisistä havainnoista keskiarvot lämpötilalle (taulukko 1). Ilmatieteen laitoksen sivuilta ladattiin erikseen vertailukauden kuukausittaiset lumensyvyys- ja sadesummahavainnot, joihin kuukausittaiset keskiarvot kyseisistä suureista oli jo valmiiksi laskettu. Kaikista yllä mainituista muuttujista tehtiin kuvaajat, joiden avulla havainnoita voitiin tarkastella visuaalisesti. Tarkastelujaksojen 2019–2020 ja 2023–2024 ajalta sadeaineistosta koottiin taulukkoon kunkin talven pienimmät ja suurimmat säähavainnot, sekä kuukausien ja koko talven keskiarvot kaikissa tarkasteltavissa suureissa (sademäärä, keskilämpötila ja lumensyvyys).

Taulukko 1. Työssä käytettävät tutkimusaineistot ja niistä tarkasteltavat suureet.

Aineisto	Tuottaja	Mittausasema	Suureet	Tarkastelu	Vertailu
Säähavainnot	Ilmatieteen laitos	Salo Kärkkä, Salo Kiikala, Salo Pertteli	Ilman keskilämpötila, sademäärä ja lumensyvyys	Päivittäinen ja kuukausittainen keskilämpötila, sademäärä sekä lumipeite kahden tarkasteltavan talven ajalta.	Viimeisen 20 vuoden talvikuukausien keskimääräinen lämpötila, sadesumma ja lumipeite.
Hydrologiset havainnot	SYKE ja Varsinais-Suomen ELY-keskus	Salo Kaukolankoski	Virtaama m ³ /s	Päivittäinen ja kuukausittainen keskivirtaama sekä P90-arvo kahden tarkasteltavan talven ajalta.	Viimeisen 20 vuoden talvikuukausien keskivirtaama sekä P90-arvo.
Vedenlaatu-havainnot	Varsinais-Suomen ELY-keskus	Salo keskusta	Kokonaisfosfori µg/l	Päivittäinen ja kuukausittainen keskimääräinen fosforipitoisuus kahden tarkasteltavan talven ajalta.	Viimeisen 20 vuoden talvikuukausien keskimääräinen fosforipitoisuus.

Kaukolankosken mittapadon virtaama-aineistot ladattiin SYKE:n Hertta – latauspalvelusta (2024) CSV-taulukkoina. Vertailujakson talvilta 2003–2023 sekä talvilta 2019–2020 ja 2023–2024 aineisto sisälsi päivittäiset keskivirtaamahavainnot, joista laskettiin kuukausittaiset keskiarvot, sekä P90-arvot em. jaksosten ajalta. Tarkastelujaksojen välisessä vertailussa tarkastellaan sitä, miten monta kertaa virtaama ylittää P90-arvon, ja kuinka suuri kyseinen arvo on eri vuosina. Päivittäiset virtaamat tarkastelujaksojen 2019–2020 ja 2023–2024 ajalta esitettiin kuvaajalla, johon myös P90-arvo visualisoitiin. Aineistosta havainnoitiin lisäksi tarkastelujaksojen korkeimmat sekä matalimmat virtaama-arvot, sekä talvikuukausien ja koko talven keskiarvot, jotka koottiin taulukkoon. Vertailujakson kuukausittaiset virtaaman keskiarvot esitettiin vuosia vertailevalla kuvaajalla, johon visualisoitiin myös vertailujakson P90-arvo.

Varsinais-Suomen ELY-keskukselta saadut vedenlaatuaineistot tarkasteluvuosilta 2019–2020 ja 2023–2024 (Soirinsuo 2024) sisälsivät useita hetkittäishavaintoja jokaiselta päivältä CSV-taulukon muodossa. Aineistosta poistettiin kaikki muut suureet, joita automaattivesimittari on havainnoinut. Hetkittäishavainnoista laskettiin päivittäiset keskiarvot jokaiselle talvijakson päivälle. Päivittäisistä keskiarvoista tarkasteltiin kahden talven pienimpiä ja korkeimpia kokonaisfosforihavaintoja, sekä laskettiin talvikausien ja talvikuukausien keskiarvoja, jotka koottiin taulukkoon. Vertailukauden 2003–2024 ajalta SYKE:n Hertta-tietokannasta ladatut aineistot sisälsivät jokaisen päivän keskimääräisen fosforipitoisuuden CSV-taulukossa. Näistä päivittäisarvoista laskettiin jokaisen talvikuukauden keskiarvo, joka esitettiin vuosia vertailevalla kuvaajalla.

Aineistoista tarkasteltavia tilastollisia tunnuslukuja verrataan kahden talvikauden välillä, mutta myös viimeisen 20 vuoden ajan talvikuukausien vastaaviin havaintoihin (taulukko 1). Vertailujakson havaintoja verrataan tarkastelujaksojen olosuhteisiin: millaisia olivat talvien 2019–2020 ja 2023–2024 vedenlaatu, virtaus- ja sääolosuhteet verrattuna viimeisen 20 vuoden olosuhteisiin? Lisäksi jokaisen muuttujan kohdalla tarkastellaan tarkastelujaksojen aikana mitattua suurinta sekä pienintä havaittua arvoa, sekä talvikuukausien ja talvijakson keskimääräistä suurepitoisuutta. Näillä tunnusluvuilla tarkastelujaksoja voidaan verrata keskenään, mutta myös viimeisen 20 vuoden vertailujakson havaintoihin. Lopuksi tunnuslukujen avulla tarkastellaan, onko havaintojen välillä tilastollisesti merkittävää yhteyttä. Tilastollista merkittävyyttä vedenlaatu, virtaus- ja sääolosuhteiden välillä tarkastellaan korrelaatioanalyysin ja sirontakuvioiden avulla visuaalisesti ja numeerisesti.

4.2.2 Vertailukausien muutostarkastelu

Korrelaatioanalyysiä käytetään kahden muuttujan välisen riippuvuuden tutkimiseen, jolloin riippuvuuden tunnuslukuna käytetään korrelaatiokerrointa (Nieminen 2025). Käytettävä korrelaatiokerroin riippuu tarkasteltavan muuttujan normaalijakautumisesta. Tuloksena on arvo -1 ja 1 välillä. Mitä enemmän tuloskerroin poikkeaa nolasta, sitä voimakkaampi riippuvuus muuttujien välillä on, ja vastaavasti tulos nollassa lähellä tarkoittaa heikkoa muuttujien välistä riippuvuutta. Tuloksen negatiivinen tai positiivinen arvo kuvaa riippuvuuden suuntaa. Riippuvuuden voimakkuuden arvioimiseksi käytetään viitearvoja:

- < 0,40 heikko korrelaatio,
- 0,40–0,60 kohtalainen korrelaatio
- 0,60–0,80 voimakas korrelaatio
- > 0,80 erittäin voimakas korrelaatio

Jos p-arvo on alle 0,05 on tapana puhua tuloksesta tilastollisesti "melkein merkitsevänä", jos se on alle 0,01 tilastollisesti "merkitsevänä" ja jos se on alle 0,001 tilastollisesti "erittäin merkitsevänä" (KvantiMOTV 2025). Sirontakuvion tai hajontakaavion avulla tarkastellaan kahden määrällisen muuttujan välistä riippuvuutta (Taanila 2019). Hajontakaavion x-akselille sijoitetaan se muuttuja, jota pidetään selittävänä muuttujana. Kaavion perusteella voi visuaalisesti arvioida riippuvuuden voimakkuutta ja luonnetta. Pisteparvessa havaitut säännönmukaisuudet ovat osoituksia riippuvuudesta. Jos hajontakaavion pisteparvi näyttää seurailevan suoraa viivaa, niin riippuvuutta kutsutaan suoraviivaiseksi eli lineaariseksi.

5 Tulokset

5.1 Vedenlaadun ja sääolojen vaihtelu kahden erilaisen talvijakson aikana

5.1.1 Uskelanjoen vedenlaatu talvella

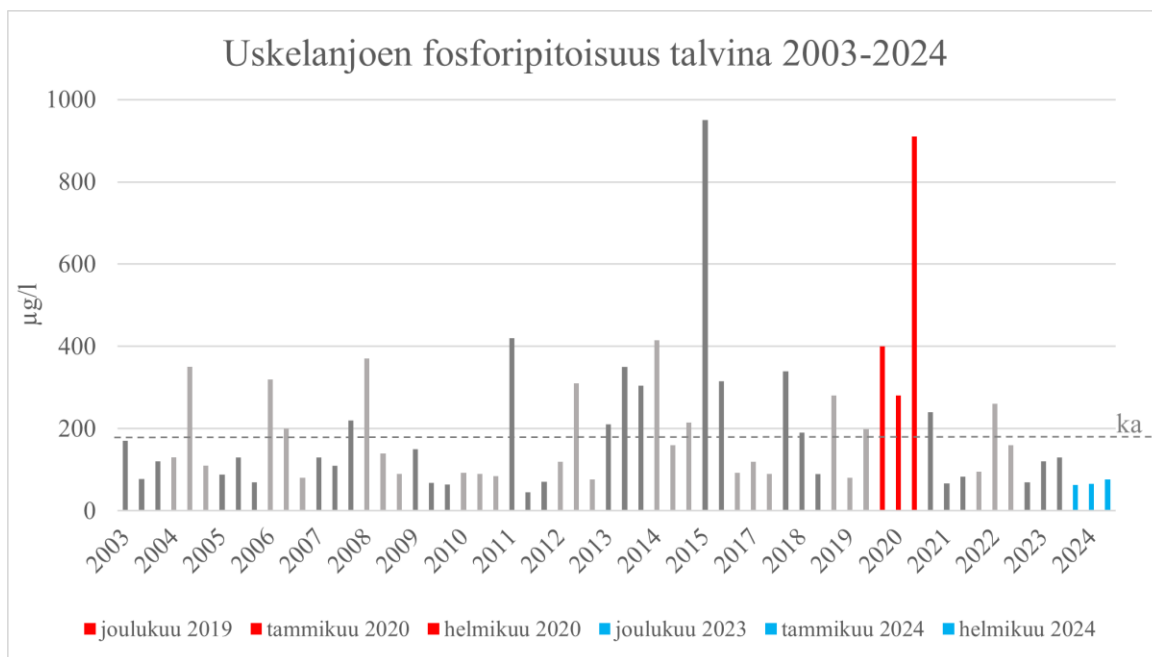
Talvien 2019–2020 sekä 2023–2024 aikana oli tehty 4369 vedenlaatumittauksia Uskelanjoesta. Aineistosta laskettiin talvikuukausien päivittäiset keskiarvot kokonaisfosforin osalta, jolloin tarkasteltavia päivittäishavaintoja oli joulukuun, tammikuun ja helmikuun ajalta yhteensä 91. Lisäksi päivittäisten keskiarvojen avulla jokaiselle talvikuukaudelle laskettiin kuukausittain fosforipitoisuuden keskiarvo, sekä koko talvikauden aikainen fosforipitoisuuden keskiarvo (taulukko 2). Aineistosta havainnoitiin myös suurimpia ja pienimpiä fosforipitoisuuksia.

Uskelanjoessa havaitut fosforipitoisuudet vaihtelivat kahden talven välillä suuresti. Talven 2019–2020 fosforipitoisuuden keskiarvo oli 614,29 µg/l, kun puolestaan talven 2023–2024 fosforipitoisuus oli keskimäärin 107,07 µg/l (taulukko 2). Talvella 2019–2020 fosforipitoisuuden keskiarvot olivat moninkertaisia talveen 2023–2024 verrattuna. Talven 2019–2020 korkein fosforihavainto (4941 µg/l) tehtiin 23.2.2020, ja alin havainto (185,57 µg/l) tehtiin 28.1.2020. Talven 2023–2024 korkein fosforihavainto (435 µg/l) tehtiin samaan aikaan helmikuussa 2024, ja alin havainto (68,00 µg/l) tehtiin 15.1.2024.

Taulukko 2. Uskelanjoen valuma-alueella tehdyt vedenlaatu-, virtaama- ja säähavainnot talvina 2019–2020 & 2023–2024, sekä vertailukaudella talvilta 2004–2024. Lumihavaintoja ei ollut saatavilla vuosilta 2007–2011, joten tunnusluvut on laskettu ilman havaintoja kyseisiltä vuosilta.

Fosforipitoisuus, µg/l	2019-2020	2023-2024	Vertailuk.	Ilman keskilämpötila, °C	2019-2020	2023-2024	Vertailuk.
Alin havainto	185	68		Alin havainto	-5,5	-22,7	
Korkein havainto	4941	435		Korkein havainto	6,5	2,8	
Talven keskiarvo	614	107	200	Talven keskiarvo	1,6	-5,2	-3
Joulukuun keskiarvo	516	106	245	Joulukuun keskiarvo	1,6	-4,6	-1,2
Tammikuun keskiarvo	524	85	160	Tammikuun keskiarvo	2,4	-8,2	-4,1
Helmikuun keskiarvo	815	131	169	Helmikuun keskiarvo	0,8	-2,6	-4
Virtaama, m ³ /s	2019-2020	2023-2024	Vertailuk.	Sadesumma, mm	2019-2020	2023-2024	Vertailuk.
Alin havainto	2,5	0,6		Alin havainto	0	0	
Korkein havainto	105	22		Korkein päivittäishavainto	26	18,7	
Talven keskiarvo	14	3,3	6,2	Talven keskiarvo	83,3	35,7	45,7
Joulukuun keskiarvo	15,5	2,1	8,2	Joulukuun summa	82	29	58,5
Tammikuun keskiarvo	8	1,4	5,8	Tammikuun summa	59	34	44,7
Helmikuun keskiarvo	19	6,7	4,5	Helmikuun summa	109	44	33,8
P-90	24,7	9	14				
Lumensyvyys, cm	2019-2020	2023-2024	Vertailuk.	Lumi ja routa	2019-2020	2023-2024	Vertailuk.
Alin havainto	0	10		Lumiset päivät	13/91	91/91	1062/1447
Korkein havainto	6	41		Lumettomat päivät	78/91	0/91	385/1447
Talven keskiarvo	0,46	26,8	11,8	Lämpötila alle 0 °C	21/91	63/91	1158/1897
Joulukuun keskiarvo	0,9	17,3	4,8				
Tammikuun keskiarvo	0,23	30,1	10,4				
Helmikuun keskiarvo	0,24	33,4	21,4				

Uskelanjoen talviaikainen kokonaisfosforin pitoisuus on vaihdellut runsaasti viimeisen 20 vuoden aikana. Kuten kuvassa 14 on havaittavissa, talven 2019–2020 aikana fosforipitoisuudet ovat olleet vertailuvuosia keskimääräistä suurempia. Etenkin helmikuun 2020 keskimääräinen fosforipitoisuus on hyvin huomattava, luultavasti yksittäisten korkeiden fosforiipikkien ansiosta. Korkeita havaintoja on kuitenkin tehty myös talvikuukausina 2015–2016. Puolestaan talven 2023–2024 fosforipitoisuudet näyttävät hyvin matalina, eikä yhtä matalafosforisia talvikuukausia 20 vuoden aikasarjassa ole havaittavissa. Keskimääräinen talven fosforipitoisuus vertailukaudella 2003–2024 on ollut 200 µg/l (taulukko 2). Talven 2019–2020 keskiarvo on siis noin 67 % suurempi viimeisen 20 vuoden keskiarvoon verrattuna, ja puolestaan talven 2023–2024 fosforipitoisuus on viimeisen 20 vuoden keskiarvoa puolet pienempi.



Kuva 14. Uskelanjoen talviaikainen fosforipitoisuus vuosien 2003 ja 2024 välillä. Taulukossa on esitetty vertailuarvona kaikkien talvikuukausien keskimääräisen fosforipitoisuuden keskiarvo (ka) katkoviivalla. Kuvaajassa eri vuosien talvikaudet (3 pylvästä) erotettu toisistaan eri väreihin.

5.1.2 Uskelanjoen virtaamaolosuhteet talvella

Talvien 2019–2020 ja 2023–2024 aikana oli tehty 91 virtaamahavaintoa Uskelanjoesta.

Talvien 2003–2024 aikana päivittäisiä virtaamahavaintoja oli tehty yhteensä 1896.

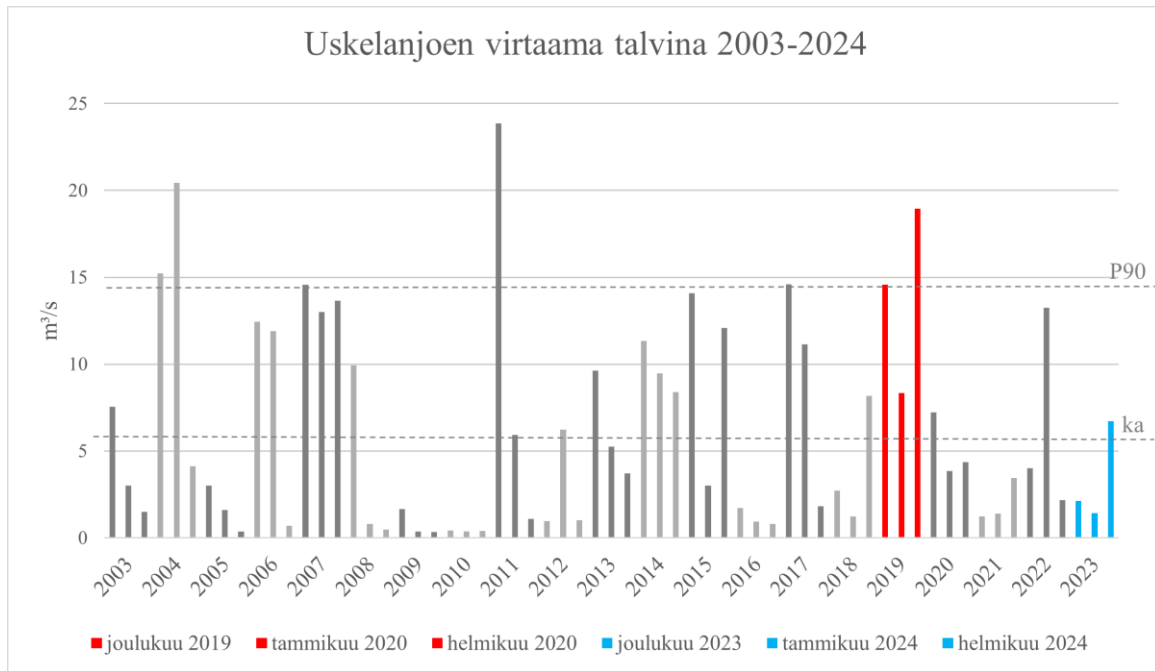
Päivittäisistä virtaamahavainnoista kahden talven ajalta laskettiin talvikuukausien keskiarvo, sekä koko talvikauden keskiarvo (taulukko 2). Lisäksi aineistosta tarkasteltiin korkeimpia ja pienimpiä virtaamahavaintoja.

Uskelanjoen virtaama vaihteli kahden talven välillä suuresti. Talven 2019–2020 keskimääräinen virtaama oli 13,84 m³/s, kun puolestaan talven 2023–2024 virtaama oli keskimäärin 3,34 m³/s (taulukko 2). Talvella 2019–2020 havaittiin myös hetkellisesti korkeita virtaama-arvoja (50–100 m³/s), ja talvikuukausien keskiarvot olivat moninkertaisia talven 2023–2024 verrattuna. Talven 2019–2020 korkein virtaamahavainto (104,76 m³/s) tehtiin 17.2.2020 (kuva 15), ja alin havainto (2,53 m³/s) tehtiin 27.1.2020 ja 8.2.2020. Talven 2023–2024 korkein virtaamahavainto (21,94 m³/s) tehtiin 26.2.2024, ja alin havainto (0,64 m³/s) tehtiin useaan kertaan 9.1.-13.1.2024 välillä. Talvella 2023–2024 Uskelanjoen virtaama on ollut hyvin hidas, ja jokea on peittänyt tiivis jääkansi.



Kuva 15. Uskelanjoen Haukkalankoskesta 17.2.2020 otettu kuva. Samana päivänä havaittiin koko talven suurin virtaama sekä hyvin korkea fosforipitoisuus (2873 $\mu\text{g/l}$), viisi päivää ennen koko talven suurinta fosforihavaintoa. Vedenpinta on noussut uoman reunojen yli, ja joki kulkee kuvan vasemmassa reunassa kynnetyn pellon päällä. Kuva: Karoliina Lintunen.

Uskelanjoen talviaikaiset virtaamaolosuhteet ovat vaihdelleet runsaasti viimeisen 20 vuoden aikana. Kuten taulukossa 2 on havaittavissa, talven 2019–2020 virtaaman keskiarvo (n. 14 m^3/s) on vertailujakson keskiarvoa yli 55 % suurempi, ja tammikuun 2020 keskivirtaama on reilusti yli vertailujakson P90-arvon. Vastaavia korkean virtaaman talvia on kuitenkin havaittavissa useita 20 vuoden vertailujakson aikana (kuva 16). Puolestaan talven 2023–2024 virtaamat näyttävät matalina, mutta vertailujakson aikana on kuitenkin tehty vielä pienempiä virtaamahavaintoja, esimerkiksi vuosina 2009–2011. Talven 2023–2024 virtaaman keskiarvo (n. 3 m^3/s) on vertailujakson keskiarvoa 50 % pienempi (taulukko 2).



Kuva 16. Uskelanjoen talviaikaiset virtaamat vuosien 2003 ja 2024 välillä. Taulukossa on esitetty vertailuarvona talvikuukausien virtaamien keskiarvo (ka) katkoviivalla, sekä P90-arvo, jonka alapuolelle jäävät virtaama-arvot edustavat 90 % kaikista vertailujakson havainnoista. Kuvaajassa eri vuosien talvikaudet (3 pylvästä) erotettu toisistaan eri värein.

5.1.3 Uskelanjoen sääolosuhteet talvella

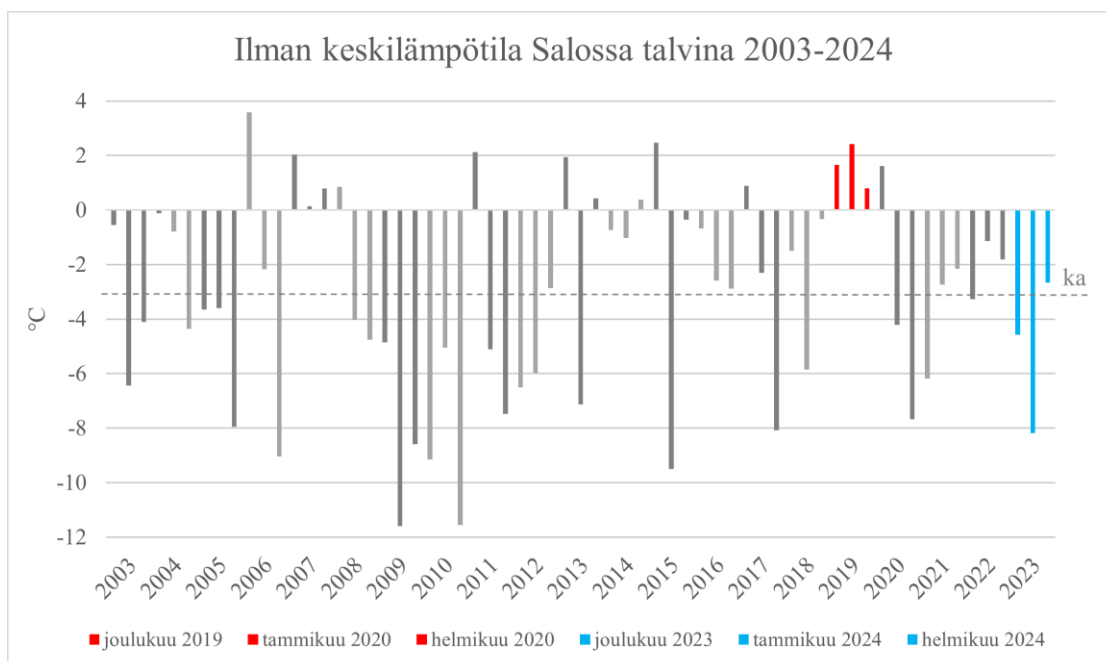
Talvien 2019–2020 ja 2023–2024 aikana oli tehty 91 päivittäistä ilman keskilämpötilahavaintoa ja 91 sademäärähavaintoa Kärkän havaintoasemalla. Talvien 2003–2024 aikana päivittäisiä sademäärän ja ilman lämpötilan havaintoja oli kutakin 1896. Lumensyvyshavaintoja vuosien 2003–2024 aikana oli 1447 kappaletta. Kuukausittaisia sadesummahavaintoja 20 vuoden jaksolta oli yhteensä 64.

Uskelanjoen valuma-alueen sääolosuhteet vaihtelivat kahden talven välillä suuresti. Talven 2019–2020 keskimääräinen lämpötila oli 1,64 °C ja sademäärä 2,75 mm, kun puolestaan talven 2023–2024 keskilämpötila oli –5,2 °C ja sademäärä 1,18 mm (taulukko 2). Etenkin lämpötilan osalta kahden talven erot olivat merkittävät, sillä talvikuukausien keskimääräiset lämpötilat erosivat toisistaan suuresti. Talvella 2019–2020 Uskelanjoen valuma-alueella on ollut hyvin lämmintä, ja matalin havaittu lämpötila on ollut vain –5,5 °C. Talvikuukausien 2019–2020 keskilämpötila on ollut plussan puolella. Kylmin havainto tehtiin 28.2.2020, kun taas lämpimin havainto (6,5 °C) tehtiin Kärkän asemalla 15.1.2020. Suurin sadehavainto (25,9 mm) tehtiin 16.2.2020. Puolestaan talvella 2023–2024 havaittiin jopa yli –20 °C pakkasia ja

kuukausien keskilämpötila pysytteli nollan alapuolella, ja sademäärät olivat vertailutalvea vähäisemmät. Alin havaittu lämpötila (-22,7 °C) mitattiin 7.1.2024, kun lämpimin havainto (2,8 °C) tehtiin 23.2.2024. Suurin sadehavainto (18,7 mm) tehtiin 16.2.2024.

Myös tarkastelujaksojen lumensyvyudet erosivat toisistaan merkittävästi. Talvella 2019–2020 Salon Kiikalassa havaittiin suurimmillaan 6 cm lumikerros, ja lumettomia päiviä oli yhteensä 78 (taulukko 2). Puolestaan talvella 2023–2024 Kiikalassa havaittiin jopa 40 cm lumenpaksuus ajanjaksolla 19.1.-22.1.2024. Lumettomia päiviä ei ollut ollenkaan, ja keskimääräinen lumensyvyys koko talven aikana oli jopa 26,80 cm, kun puolestaan talvella 2019–2020 se oli vain 0,46 cm.

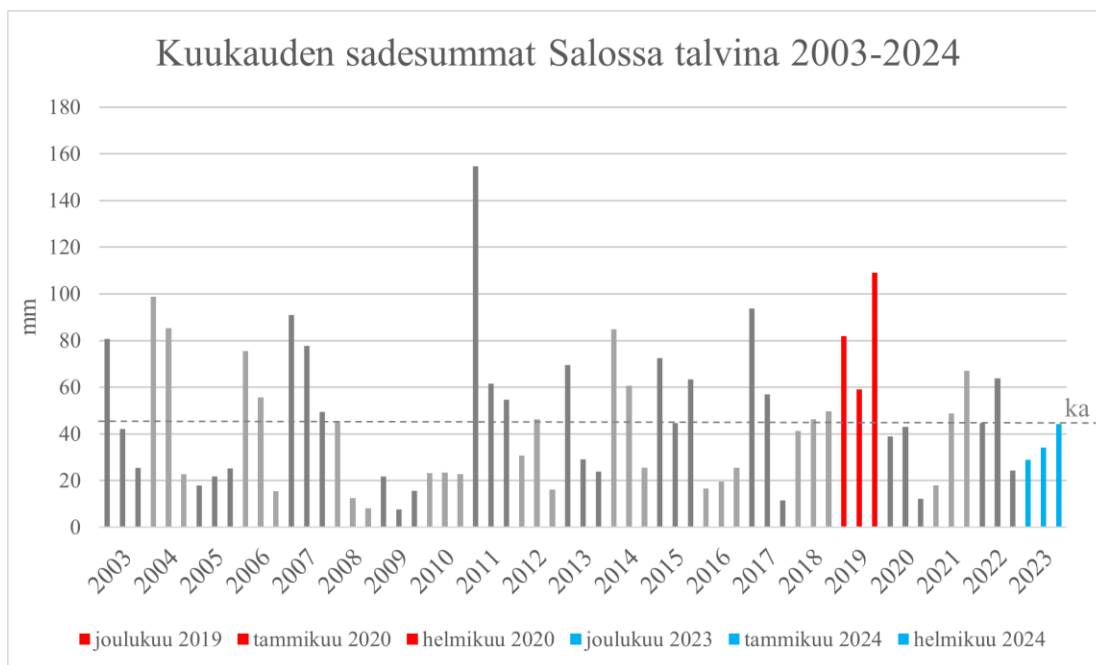
Uskelanjoen talviaikaiset sääolosuhteet ovat vaihdelleet runsaasti viimeisen 20 vuoden aikana (kuva 17). Talven 2019–2020 keskilämpötila erottuu jopa 5 astetta keskimääräistä lämpimämpänä, vaikka vertailujakson aikana on ollut muitakin lämpimiä talvikuukausia, joiden keskilämpötila on ollut plussan puolella. Puolestaan talven 2023–2024 lämpötila näyttäytyy kylmänä, mutta vertailujakson aikana on kuitenkin ollut useita vielä kylmempitä talvikausia (esimerkiksi vuosina 2010–2011). Talvi 2023–2024 oli noin 2 astetta kylmempi kuin 20 vuoden tarkastelujakson lämpötilakeskiarvo, kun taas puolestaan talvi 2019–2020 oli lähes 5 astetta keskiarvoa lämpimämpi (taulukko 2).



Kuva 17. Uskelanjoen valuma-alueen lämpötilahavainnot talvien 2019–2020 ja 2023–2024 aikana. Taulukossa on esitetty vertailuarvona talvikuukausien ilman lämpötilan keskiarvo (ka) katkoviivalla. Kuvaajassa eri vuosien talvikaudet (3 pylvästä) erotettu toisistaan eri värein.

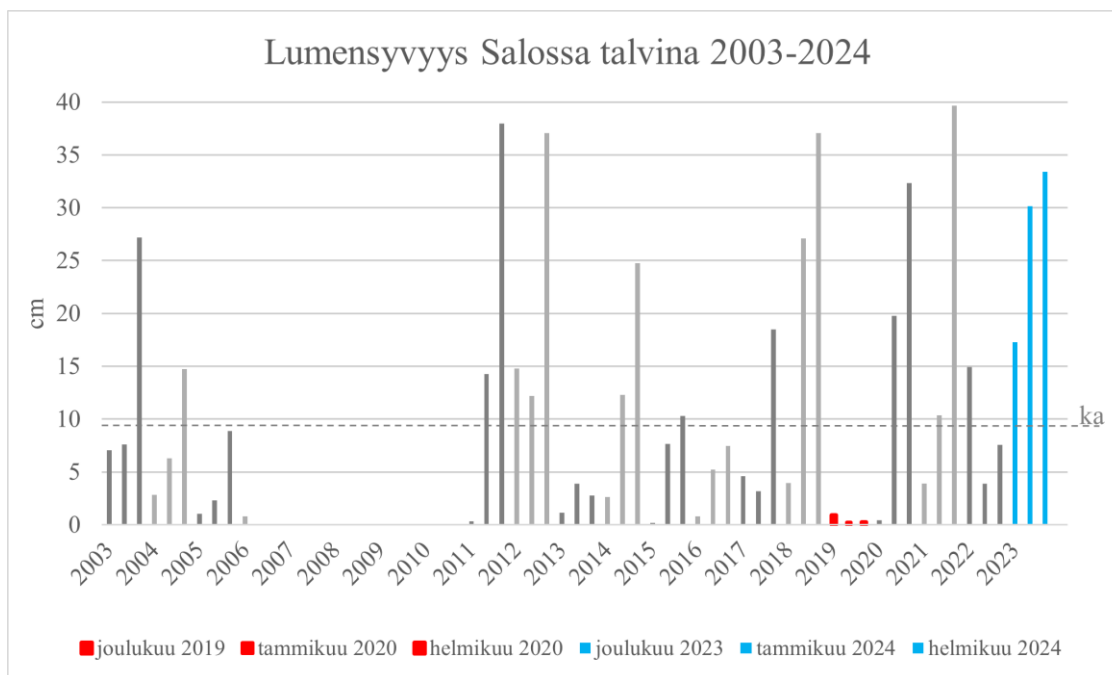
Talven 2019–2020 sadesumma oli 250 mm ja keskimääräinen kuukausittainen sadesumma on 83 mm, joka on 20 vuoden vertailujakson keskiarvoa (kuva 18) noin 45 % enemmän.

Puolestaan talven 2023–2024 sadesumma oli vain 107 mm ja keskimääräinen kuukausittainen sadesumma on 36 mm, joka on vertailujakson keskiarvoa noin 20 % vähemmän (taulukko 2).



Kuva 18. Uskelanjoen valuma-alueen sadesumma talvien 2019–2020 ja 2023–2024 aikana. Taulukossa on esitetty vertailuarvona talvikuukausien sadesummien keskiarvo (ka) katkoviivalla. Kuvaajassa eri vuosien talvikaudet (3 pylvästä) erotettu toisistaan eri värein.

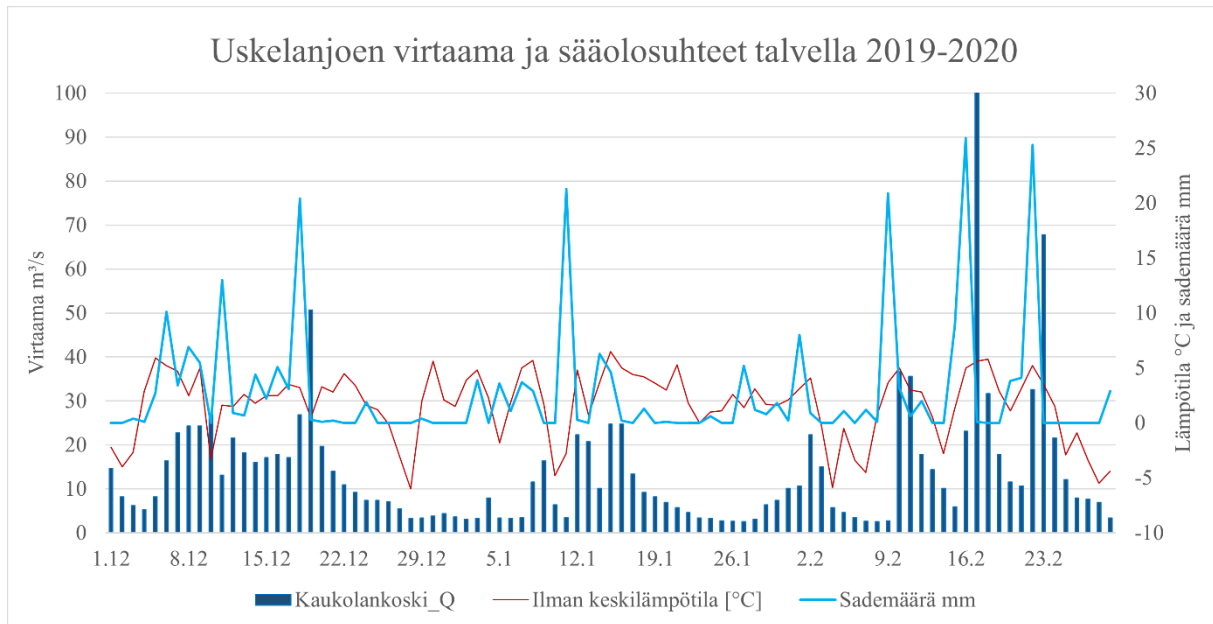
Talven 2019–2020 keskimääräinen lumensyvyys oli alle 1 cm, joka on 20 vuoden vertailujakson keskiarvoa (kuva 19) noin 95 % vähemmän. Puolestaan talven 2023–2024 keskimääräinen lumensyvyys oli lähes 27 cm, joka on vertailujakson keskiarvoa noin 65 % suurempi (taulukko 2).



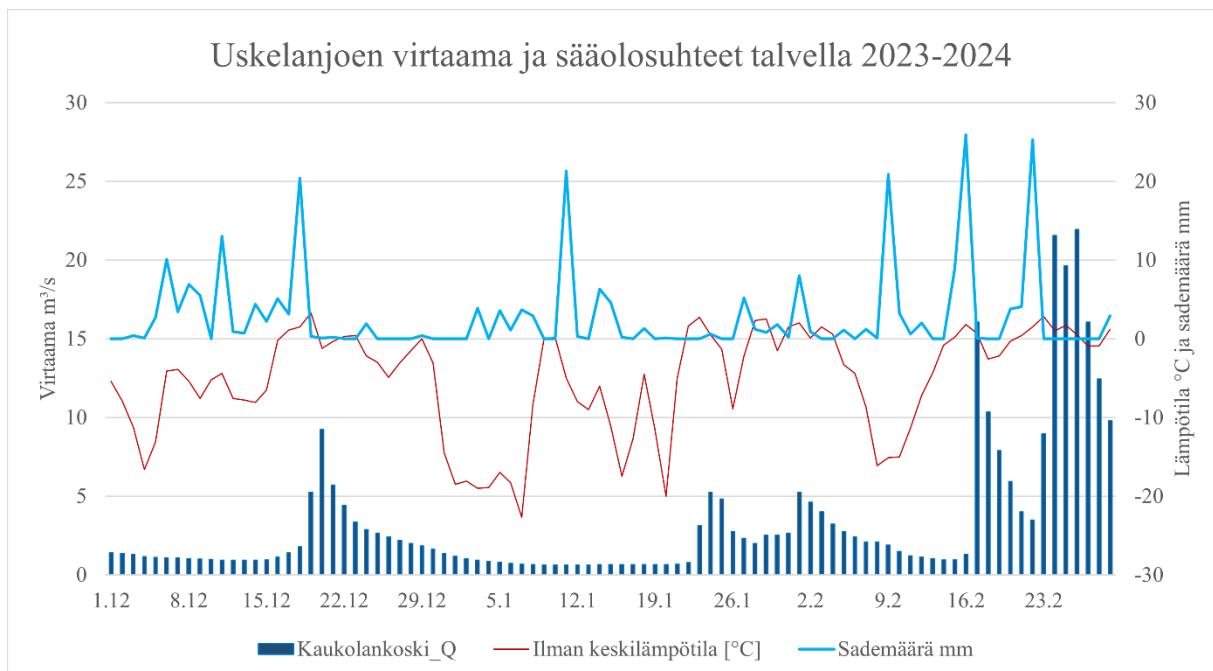
Kuva 19. Uskelanjoen valuma-alueen lumihavainnot talvien 2019–2020 ja 2023–2024 aikana. Taulukossa on esitetty vertailuarvona talvikuukausien lumensyvyyden keskiarvo (ka) katkoviivalla. Ei havaintoja talvikausilta 2007–2011. Kuvaajassa eri vuosien talvikaudet (3 pylvästä) erotettu toisistaan eri värein.

5.2 Sääolosuhteiden vaikutus talven ravinnekuormitukseen

Talvien 2019–2020 ja 2023–2024 aikana Uskelanjoen virtaama ja ravinnekuormitus vaihteli pääasiassa sääolosuhteiden mukaan. Kuten kuvissa 20 ja 21 nähdään, virtaama kasvoi sademäärän nousun seurauksena pienellä viiveellä. Lämpimänä talvena 2019–2020 virtaamat ovat olleet suuria, lämpötila on ollut plussan puolella ja sademäärät ovat olleet merkittäviä. Puolestaan kylmänä talvena 2023–2024 virtaama on ollut monin verroin pienempää ja sademäärät ovat olleet maltillisempia. Kylmänä talvena virtaamat kasvavat selvästi, kun lämpötila kohoaa nollan asteen tienoille, mutta sateen ja virtaaman välinen yhteys ei kuvaajien 20 ja 21 perusteella ole yhtä vahva kuin lämpimänä talvena.



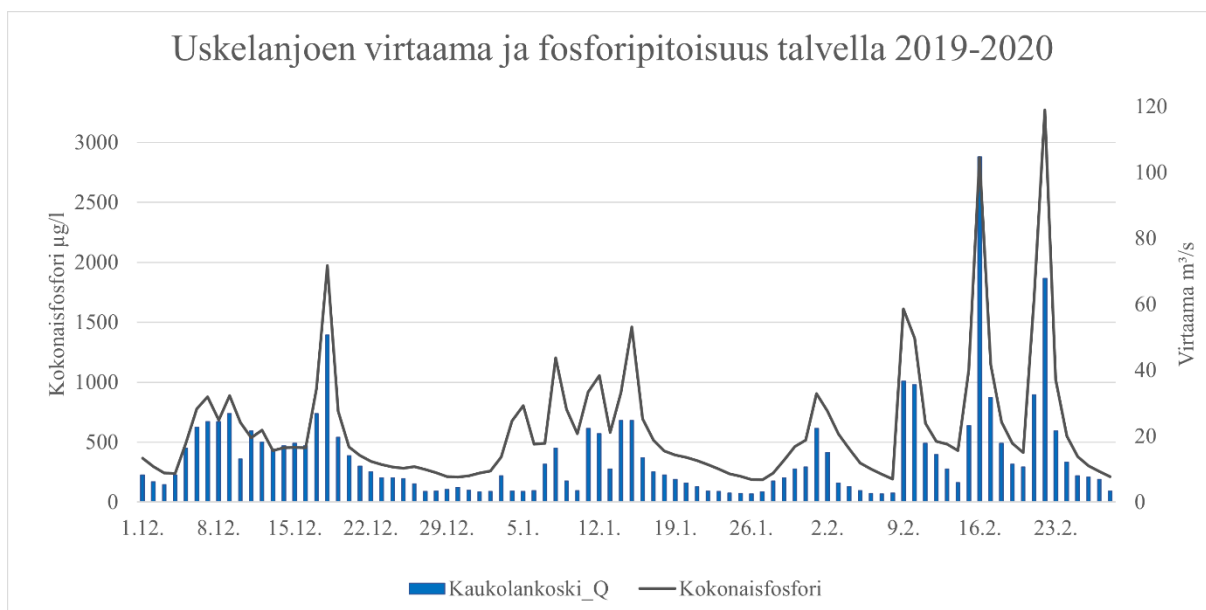
Kuva 20. Uskelanjoen valuma-alueen sääolosuhteet ja virtaama talvella 2019–2020.



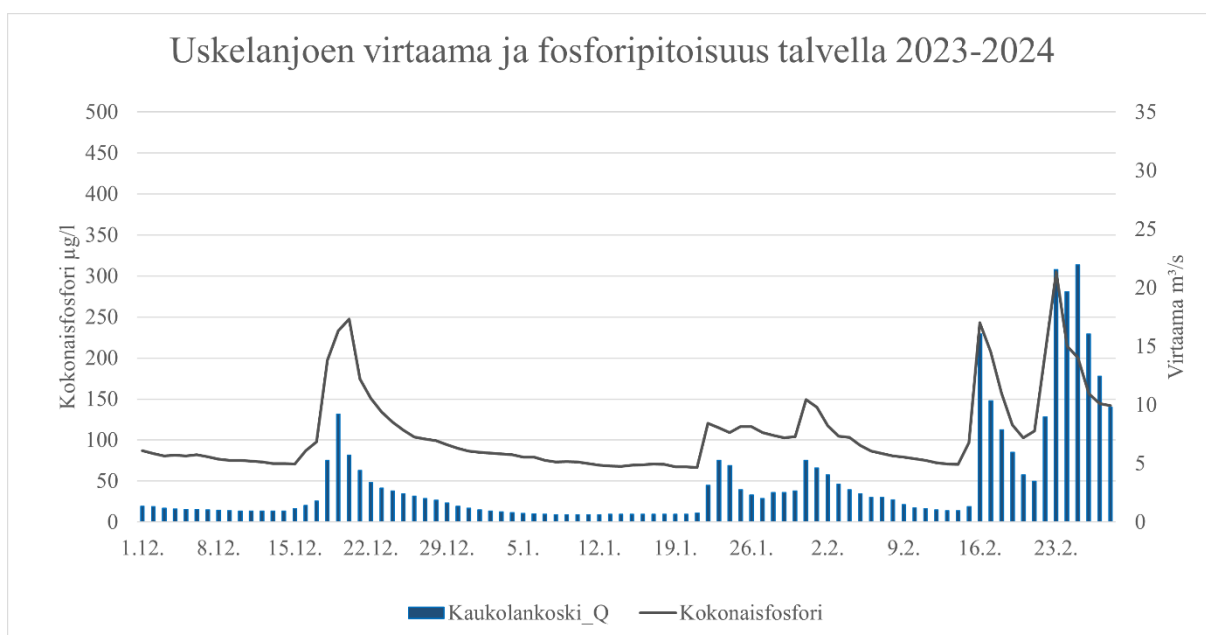
Kuva 21. Uskelanjoen valuma-alueen sääolosuhteet ja virtaama talvella 2023–2024.

Talvina 2019–2020 ja 2023–2024 Uskelanjoen virtaama ja fosforipitoisuus ovat olleet vahvasti kytköksissä toisiinsa. Kuten kuvissa 22 ja 23 voidaan havaita, virtaaman noustessa myös kokonaisfosforin pitoisuus vedessä nousee. Puolestaan virtaaman heikentyessä, fosforipitoisuus laskee hyvin nopeasti. Koska fosforipitoisuuden määrä riippuu voimakkaasti virtaamasta, sen määrään vaikuttaa suoraan sademäärä ja ilman lämpötila, jotka määräävät virtaaman voimakkuuden. Virtaaman ja fosforipitoisuuden välinen korrelaatio ilmenee erittäin voimakkaana myös tilastollisia menetelmiä käyttäen. Spearsonin korrelaatiokertoimen

mukaan kumpanakin talvena näiden muuttujien välinen korrelaatio on voimakas ja tilastollisesti merkittävä (taulukko 3).



Kuva 22. Uskelanjoen virtaama ja fosforipitoisuus talvella 2019–2020. Kokonaisfosforia kuvaavan y-akselin asteikko on 0–3000 µg/l.



Kuva 23. Uskelanjoen virtaama ja fosforipitoisuus talvella 2023–2024. Kokonaisfosforia kuvaavan y-akselin asteikko on 0–500 µg/l.

Talven 2019–2020 muuttujien välinen yhteys tilastollista testausta käyttäen (taulukko 3) osoitti joitakin yhteyksiä sää-, virtaama- ja vedenlaatuhavaintojen välillä. Spearmanin korrelaatiokertoimen mukaan tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita löytyi kokonaisfosforin ja virtaaman välillä voimakkaana (0,827), sekä virtaaman ja lämpötilan välillä heikkona

(0,378). Sateen ja ilman lämpötilan välillä näyttää olevan heikko korrelaatio (0,346). Ilman keskilämpötilan ja kokonaisfosforin välillä ei ole tilastollisesti merkittävää korrelaatiota.

Taulukko 3. Talvien 2019–2020 & 2023–2024 sekä vertailukauden 2004–2024 muuttujien korrelaatiokerroimet Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa käyttäen.

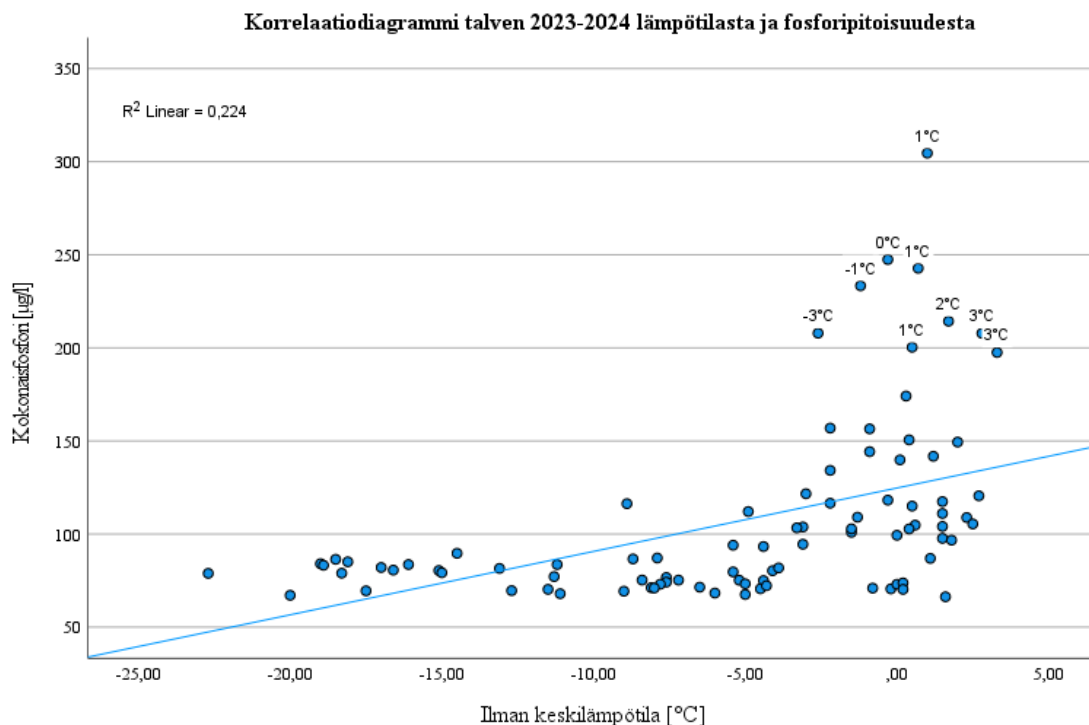
Talvikuukaudet 2019-2020			
	Fosforipitoisuus		
Keskivirtaama	0,827 p <0,001	Keskivirtaama	
Sadesumma	0,160 p 0,131	0,142 p 0,179	Sadesumma
Ilman keskilämpötila	0,248 p 0,018	0,378 p <0,001	0,346 p <0,001

Talvikuukaudet 2023-2024			
	Fosforipitoisuus		
Keskivirtaama	0,934 p <0,001	Keskivirtaama	
Sadesumma	0,034 p 0,751	0,059 p 0,579	Sadesumma
Ilman keskilämpötila	0,721 p <0,001	0,604 p <0,001	0,352 p <0,001

Vertailukausi			
	Fosforipitoisuus		
Keskivirtaama	0,665 p <0,001	Keskivirtaama	
Sadesumma	0,555 p <0,001	0,816 p <0,001	Sadesumma
Ilman keskilämpötila	0,721 p <0,001	0,785 p <0,001	0,671 p <0,001

Talven 2023–2024 osalta sää- ja vesihavaintojen välillä oli enemmän korrelaatiota (taulukko 3). Spearmanin korrelaatiokerroimen mukaan tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita löytyi kokonaisfosforin ja virtaaman väliltä erittäin voimakkaana (0,934), sekä voimakkaana ilman lämpötilan ja fosforipitoisuuden välillä (0,721) ja virtaaman ja ilman lämpötilan välillä (0,604). Kohtalainen korrelaatio oli havaittavissa lisäksi kokonaisfosforin ja lämpötilan välillä

(0,566). Myös tässä ilman lämpötilan ja sademäärän välillä on heikko korrelaatio (0,352). Ilman keskilämpötilan ja kokonaisfosforipitoisuuden välistä yhteyttä tarkastelevan sirontakuvion mukaan valuma-alueen lämpötila selittää 22,4 % fosforipitoisuuden vaihtelusta (kuva 24). Ilman lämpötilan ja fosforipitoisuuden välillä on siis selvä positiivinen riippuvuus, mikä ei kuitenkaan ole kovinkaan lineaarinen. Sirontankuviossa korostuu erityisesti nollan celsiusasteen ympärillä kasvanut kokonaisfosforipitoisuus. Korkeimmat fosforihavainnot talvella 2023-2024 onkin tehty silloin, kun ilman keskilämpötila on ollut $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä (kuva 24).



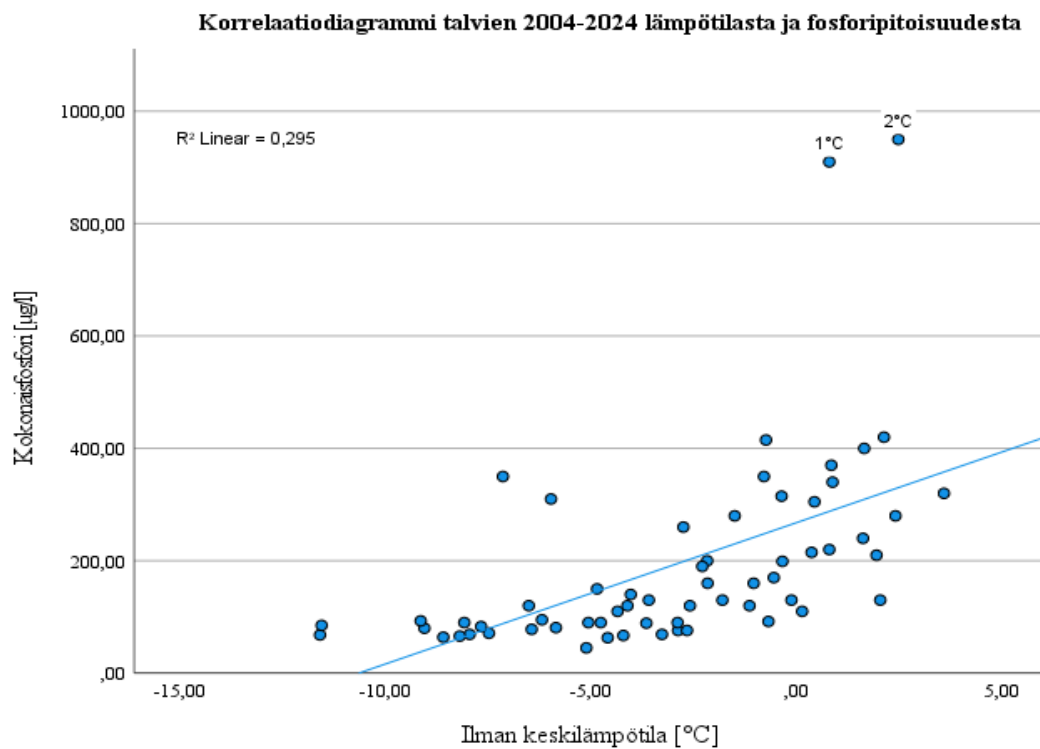
Kuva 24. Ilman keskilämpötilan ja Uskelanjoen kokonaisfosforipitoisuuden välistä yhteyttä talvella 2023–2024 tarkasteleva sirontakuvi, jonka mukaan valuma-alueen lämpötila selittää 22,4 % fosforipitoisuuden vaihtelusta. Kaaviossa suurimpien fosforiarvojen havaintolämpötilat on ilmoitettu lämpöasteina.

Vertailukauden (vuodet 2003–2024) muuttujien välinen yhteys tilastollista testausta käyttäen (taulukko 3) osoitti selviä yhteyksiä sää-, virtaama- ja vedenlaatuhavaintojen välillä.

Spearmanin korrelaatiokertoimen mukaan tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita löytyi kokonaisfosforin ja keskivirtaaman välillä voimakkaana (0,665), kohtalaisena kokonaisfosforin ja sadesumman välillä (0,555) sekä voimakkaana kokonaisfosforin ja ilman keskilämpötilan välillä (0,721). Lisäksi keskivirtaaman ja sadesumman välillä on havaittavissa erittäin voimakas korrelaatio (0,816), sekä voimakas korrelaatio keskivirtaaman

ja ilman keskilämpötilan välillä (0,785). 20 vuoden tarkastelujaksossa on voimakas korrelaatio (0,671) talvikuukausien sadesumman ja keskilämpötilan välillä. Näin ollen kaikkien tarkasteltavien muuttujien välillä on havaittavissa vähintäänkin voimakas positiivinen korrelaatio.

Ilman keskilämpötilan ja kokonaisfosforipitoisuuden välistä yhteyttä tarkastelevan sirontakuvion (kuva 25) mukaan valuma-alueen lämpötila selittää 29,5 % fosforipitoisuuden vaihtelusta. Ilman lämpötilan ja fosforipitoisuuden välillä on siis selvä positiivinen riippuvuus, mikä ei kuitenkaan ole kovinkaan lineaarinen. Myös tässä 20 vuoden aineistossa suurimmat kokonaisfosforihavainnot (yli 800 µg/l) on tehty, kun ilman keskilämpötila on ollut nollan celsiusasteen lähellä.



Kuva 25. Ilman keskilämpötilan ja Uskelanjoen kokonaisfosforipitoisuuden välistä yhteyttä tarkasteleva sirontakuviio, jonka mukaan valuma-alueen lämpötila selittää 29,5 % fosforipitoisuuden vaihtelusta vuosina 2003–2024.

6 Keskustelu

6.1.1 Sääolosuhteiden vaikutus vedenlaatuun

Ilmatieteen laitoksen (2025) tilastojen mukaan vuoden 2020 keskilämpötila oli Suomessa ennätysellisen korkea, noin 4,8 astetta. Tämä ylittää edellisen ennätyksen vuodelta 2015 jopa noin 0,6 asteella. Rannikkoalueilla Uudellamaalla, Satakunnassa ja Pohjanmaan maakunnissa sekä Kainuussa sademäärät olivat monin paikoin poikkeuksellisen suuria eli ne toistuvat keskimäärin harvemmin kuin kerran 30 vuodessa. Talvi eli joulukuun-helmikuun oli poikkeuksellisen tai ennätysellisen lämmin lähes koko maassa lukuun ottamatta Keski- ja Pohjois-Lappia. Sateiden osalta talvi oli monin paikoin maan lounaisosassa sekä pohjoisosassa poikkeuksellisen sateinen, paikoin ennätysellisen sateinen. Varsinais-Suomen ja Uudenmaan alueella talvikauden sademäärät olivat yleisesti yli 250 millimetriä, mikä on yli puolitoista kertaa enemmän kuin vertailukaudella tyypillisesti. Tämän tutkimuksen perusteella Uskelanjoen valuma-alueen sää talvella 2019–2020 oli 20 vuoden vertailujaksoon nähden 5 astetta keskimääräistä lämpimämpi ja sademäärä oli 45 % keskimääräistä suurempi, kun taas puolestaan talvi 2023–2024 oli vertailujaksoon nähden 2 astetta keskimääräistä kylmempi ja sademäärä oli 20 % keskimääräistä pienempi.

Lämpimän ja sateisen talven aikana jokien virtaamat ovat suurempia kuin kylminä talvina. Kuten talvella 2019–2020, keskimääräinen virtaama Uskelanjoessa oli 13,84 m³/s, mikä on vertailujakson keskiarvoa yli 50 % suurempi. Korkeat virtaamat ovat seurausta tavallista runsaammista sademääräistä, jotka tulevat maahan vetenä. Puolestaan kylmän talven aikana vesi sataa maahan lumena, ja talvella 2023–2024 keskimääräinen virtaama oli vain 3,3 m³/s, mikä on puolet vähemmän kuin vertailujakson keskiarvoinen virtaama Uskelanjoessa talviaikaan. Uskelanjoen valuma-alueella on runsaasti virtaaman mukana kulkeutuvaa erodoituvaa ainesta, sillä erilaiset peltoalueet kattavat jopa 44 % koko valuma-alueen pinta-alasta. Lounais-Suomessa (Pietiläinen & Ekholm 1992) tehdyn tutkimuksen mukaan jokiuomassa kulkeutuvasta kiintoaineesta keskimäärin jopa 90 % oli peräisin peltojen pintamaasta. Vastaavassa tutkimuksessa Etelä-Suomessa (Västilä & Järvelä 2011) noin puolet suspendoituneesta kiintoaineksesta oli peräisin ympäröiviltä pelloilta ja puolet valuma-alueen metsäisistä osista.

Salmelan ja muiden (2022) tutkimuksessa tarkasteltiin sedimenttipyydydysten ja hydrodynaamisen mallinnuksen avulla sedimentin kertymistä Halikonlahteen kahden erilaisen

talven aikana. Työssä tarkastelujaksot sijoituivat vuosille 2018–2019 sekä 2019–2020 samalla merialueella, johon Uskelanjoki laskee. Sedimenttien analyysin perusteella tutkimuksessa selvisi, että kahden sääolosuhteiltaan hyvin erilaisen talven välillä oli suuria eroja aineksen kulkeutumisessa ja kasautumisessa. Sedimentin kertyminen oli lähes kolme kertaa voimakkaampaa aiemmin mainittuna, ennätysellisen leutona talvena (2019–2020), jolloin lahteen laskevissa joissa oli suurempi virtaama, eikä lumi- tai jääpeitettä ollut. Kylmänä talvena, jolloin vesistöjä peitti jää- ja lumikansi, sedimentit sisälsivät enemmän orgaanista ainesta, mutta kulkeutuvan aineksen määrä oli merkittävästi pienempi. Tulokset kahden erilaiset talven välillä olivat hyvin samankaltaisia, kuin tässä pelkästään Uskelanjokeen sijoituvassa tarkastelussa. Tutkimuksen mukaan kylminä talvina routa, sekä lumi- ja jääkerros maanpinnan ja vedenpinnan päällä vähensivät sedimentaatiota. Lämpiminä talvina jäättömyys ja voimakkaat säävaihtelut voimistivat valuma-alueen eroosiota.

Myös tässä tutkimuksessa leudon ja runsassateisen talven fosforikuormitus oli huomattavasti runsaampaa, kuin kylmän ja lumipeitteisen talven aikana. Talven 2019–2020 fosforikuormitus oli 20 vuoden vertailujakson keskiarvoa n. 67 % suurempi, kun puolestaan kylmän talven 2023–2024 fosforikuormitus oli vertailujakson keskiarvoa puolet pienempi. Onkin todennäköistä, että taustalla vaikuttaa samankaltaiset ympäristötekijät kuin Salmelan ym. (2022) tutkimuksessa; leudon talven aikana jokien suuremmat virtaamat kuljettivat enemmän kiintoainesta ja ravinteita mukanaan, jota erodoitui enemmän sulasta maanpinnasta, jossa ei ollut lumi- tai jääpeitettä. Puolestaan kylmän talven aikana routa sekä lumi- ja jääpeite suojasivat maata erodoitumiselta, jolloin jokien mukana kulkeutuvan aineksen määrä oli huomattavasti pienempi talvella 2023–2024.

Kasvin ja muiden (2024) tutkimuksessa tarkasteltiin peltojen kipsikäsittelyn vaikutuksia Saaristomeren ravinnekuormitukseen. Työssä tarkasteltiin erityisesti erilaisten talviolosuhteiden vaikutusta hydroklimatologisiin olosuhteisiin, virtaaman muutoksiin ja eroosion voimakkuuteen. Eroosion huomattiin olevan voimakkaampaa, kun lämpötila vaihteli nollan celsiusasteen kummankin puolin eli niin sanottujen jäätymis- ja sulamissykliä vaikutuksesta. Tällaisia syklejä oli havaittavissa leutona talvena 2019–2020 myös Uskelanjoessa. Nollan celsiusasteen lähetyvillä havaittiin tarkastelujakson korkeimmat fosforipitoisuudet myös kylmänä talvena 2023–2024. Kasvin ym. (2024) tulosten mukaan leutojen talvien korkeammat virtausolosuhteet ja sademäärät altistivat valuma-alueen eroosioprosesseille. Tilannetta pahensi, mikäli valuma-alueella ei ollut kasvipeitettä esimerkiksi peltoalueilla, ja jos maa ei ollut roudassa. Tällaisia peltoalueita on runsaasti

Uskelanjoen valuma-alueella. Tutkimuksen mukaan erityisesti talvella vesisateet lisäsivät vesistöjen ravinnekuormitusta enemmän kuin muina vuodenaikoina. Tämä on selvästi nähtävissä myös Uskelanjoen ravinnekuormituksessa talvella 2019–2020, jolloin maa ei ollut roudassa ja sateet olivat tavallista runsaampia.

20 vuoden vertailujakson mukaan Uskelanjoen valuma-alueen lämpötila selittää 29,5 % fosforipitoisuuden vaihtelusta, ja kaikki tarkasteltavat muuttujat eli lämpötila, sadesumman, virtaaman ja fosforipitoisuus kaikki korreloivat hyvin voimakkaasti keskenään. Yksittäisten vuosien suhteen korrelaatiot eivät olleet yhtä voimakkaita, eikä esimerkiksi lämpötilan ja fosforipitoisuuden välillä ollut tilastollisesti merkittävää korrelaatiota lämpimänä talvena 2019–2020. Vuositasolla sademäärän, virtaaman ja kokonaisfosforin välillä ei ollut tilastollisesti merkittävää yhteyttä, vaikka korrelaatiotesti suoritettiin myös seuraavan päivän virtaama-arvoille. Yhteys sademäärän ja virtaaman välillä näyttyy kuitenkin siten, että sateen jälkeen pienellä viiveellä virtaama kasvaa. Tilastollisesti merkitsevän korrelaation löytymiseen saattaa kuitenkin vaikuttaa se, että vuorokausisademäärä on parametrina sellainen, että se saa kaikkina sateettomina päivinä saman (0) arvon. Virtaama sitä vastoin vaihtelee päivien välillä enemmän, eikä se sisällä samassa määrin samoja havaintoarvoja kuin sademäärä. Tämä ero muuttujan arvojen vaihtelussa saattaa vaikuttaa siihen, että korrelaatio ei ole tilastollisesti merkitsevä, vaikka muuttujien välinen yhteys onkin havaittavissa muuten. Toinen mahdollinen syy siihen, että korrelaatio ei ole tilastollisesti merkitsevä, voisi olla talviolosuhteissa se, että kun lämpötila on pakkasen puolella, sade tulee lumena ja kerryttää lumipeitettä, eikä sen vuoksi juurikaan vaikuta virtaamaan. Myös vetenä tuleva sade voi talvella pääasiassa kerryttää lumipeitteen vesi-arvoa, ja myös tässä tapauksessa vaikutus virtaamaan voi olla vähäisempi.

6.1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutus vesistöjen ravinnekuormitukseen

Suomen ilmasto-olosuhteet ja hydrologiset olosuhteet kulkevat vuodenaikojen syklissä. Erityisesti lumikertymä on tärkeä osa pohjoisten ilmasto-olosuhteiden hydrologisissa prosesseissa (Veijalainen ym. 2010). Talvella jokien virtaamat pienentyvät, kun lämpötila laskee ja vedenpinta jäätyy. Lumen määrän muuttuminen on yksi keskeisimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa. Lumen määrä vähenee koko maassa, mutta eniten Etelä-Suomessa. Lumipeitteen kesto lyhenee ja runsaslumisten talvien määrä vähenee etenkin maan eteläosissa. Tyypillisesti keväällä lämpötila nousee ja sulattaa talven aikana valuma-alueelle kertyneen lumen, kasvattaen valuntaa ja virtaamaa runsaasti. Tämän tutkimuksen

perusteella keskimääräistä lämpimämpää talvea 2019–2020 voi kuvailla runsaan jokiravinnekuorman lisäksi myös hyvin vähälumisiksi, sillä lumettomia päiviä oli yhteensä 78 kappaletta kaikista 91 havaintopäivästä. Tässä tutkimuksessa käytetyn korrelaatiokertoimen perusteella kokonaisfosforin ja ilman keskilämpötilan välillä oli voimakas korrelaatio, joka tukee hypoteesia vesistöjen ravinnekuormituksen lisääntymisestä ilmaston lämpenemisen myötä.

Lintusen ja muiden (2024) tutkimuksessa tarkasteltiin suomalaisten jokien virtaamissa havaittuja pitkän aikavälin muutoksia. Muutoksia kuukausittaisissa keskivirtaamissa havaittiin lähes kaikilla tutkimusalueilla. Etenkin rannikkoalueilla, kuten Uskelanjoella, kevättulvien on havaittu aikaistuneen ja syystulvien myöhästyneen, sekä kevättulvien vesimäärän vähentyneen. Poikkeuksellisen suuria virtaamia voidaan kuitenkin havaita tulevaisuudessa muina vuodenaikoina, kuten esimerkiksi talvikaudella. Pohjois-Suomessa vastaavat vaikutukset eivät ole vielä yhtä selkeitä, sillä kuten Veijalainen ja muut (2012) ennustivat, hydrologiset muutokset ilmenevät ensimmäisenä Etelä-Suomessa. Hydrologiset muutokset tulevat olemaan jo lähivuosikymmeninä selkeitä etenkin eteläosissa maata, kun taas Pohjois-Suomessa hydrologiset muutokset ilmenevät vasta myöhemmin ilmaston lämpenemisen edetessä. Esimerkiksi hyydetulvien riski kasvaa Etelä- ja Keski-Suomessa talven virtaamien kasvaessa ja jääkannen synnyn myöhentyessä. Ilmastonmuutos vaikuttaa myös pohjaveden pinnankorkeuden muutoksiin. Talven lyhenemisen seurauksena pinnankorkeudet nousevat ja toisaalta kevään aikaistumisen myötä pinnat alenevat loppukesällä.

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös kasveista ja maasta tapahtuvaan haihduntaan, kun lämpötila nousee ja maankosteus vähenee (Veijalainen ym. 2012). Suhteellisesti suurin valunnan kasvu tullaan havaitsemaan talvikuukausina etenkin Etelä-Suomessa. Puolestaan kesän valunnat pienenevät maaperän kuivumisen johdosta, Pohjois-Suomessa kevättulvien aikaistumisen myötä. Jokien virtaaman kasvaessa talviaikaan myös niiden mukana kulkeutuvien ravinteiden ja kiintoaineksen määrä kasvaa, kuten voidaan todeta pelkästään Uskelanjokea tarkastelemalla. Kasvin ym. (2024) tutkimuksen mukaan tulevaisuudessa borealisella ilmastovyöhykkeellä haastavat talviolosuhteet tulevat yleistymään, ja hankaloittamaan esimerkiksi kipsikäsittelyn onnistumista. Vettynyt maa ja jäätymis-sulamissyklit lisäävät eroosiota ja tulevat ilmastonmuutoksen myötä yleistymään. Tutkimuksen mukaan talviajan kasvipeitteisyys voisi vähentää eroosiota ja sitä myöten vesistöjen mukana kulkevaa ravinnekuormaa.

Kipsikäsitteilyn lisäksi vesistöjen ravinnekuormitusta voidaan pyrkiä vähentämään erilaisilla kunnostustoimenpiteillä. Erilaisesta maankäytöstä, kuten maa- ja metsätaloudesta syntyvää kuormitusta vähennetään parhaiten ehkäisemällä maaperän eroosiota, jota voidaan hidastaa erilaisten suojavajöhykkeiden tai kuivatusjärjestelmien avulla (Valuma-alueen kunnostus 2025). Myös viljelytekniikoiden kehitystä pidetään tärkeänä etenkin aluilla, joissa maataloudesta peräisin oleva kuormitus on suhteellisen suurta. Vesiin päätynyttä ravinnekuormitusta voidaan yrittää pysäyttää erilaisten tulvatasanteiden, kosteikkojen, laskeutusaltaiden ja patorakenteiden avulla. Ilmastonmuutos kuitenkin hankaloittaa myös näiden toimenpiteiden tehokasta toteutusta, kun esimerkiksi lumettomuus ja sään ääri-ilmiöt yleistyvät.

Varsinais-Suomen ELY-keskuksen vesienhoitoraportin mukaan Saaristomeren valuma-alueella merkittävimmät ongelmat jokivesistöissä ovat tällä hetkellä hajakuormitus, eroosio ja kiintoainekuormitus (Kipinä-Salokannel 2016). Lisäksi veden vähyys, virtaamavaihtelut ja tulvat ovat keskeisiä yleistyneitä ongelmia monessa Saaristomereen laskevassa jokivesistöissä. Rannikkovesien osalta keskeisiä kysymyksiä ovat ulkoisen kuormituksen lisäksi haitalliset aineet, tulokaslajit ja paikoitellen sisäinen kuormitus ja rakenteelliset muutokset. Saaristomeren valuma-alueella vesistöjen hyvän ekologisen ja kemiallisen tilan saavuttamisen edellyttää merkittävää fosfori- ja typpikuormituksen vähentämistä. Vähennystarve vaihtelee alueittain, ja esimerkiksi Kiskonjoen-Uskelanjoen-Halikonjoen ja Paimionjoen-Aurajoen osalla ravinnekuormituksen vähennystarpeet ovat suurimmat: fosforikuormituksen osalta yli 50 % ja typpikuormituksen osalta 30–50 % nykyisestä kuormituksesta. Nämä tavoitteet edellyttävät merkittäviä toimia erityisesti maataloudessa, mutta myös haja-asutuksessa, metsätaloudessa, turvetuotannossa ja yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa.

Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelman mukaan (Laamanen ym. 2021) varsinkin rehevöitymistä hillitsevillä toimilla arvioidaan olevan myönteisiä yhteisvaikutuksia meriveteen sekä myös sisävesiin niiltä osin, kun toimenpiteet toteutetaan sisämaassa. Vaikutukset ovat pääsääntöisesti positiivisia, mutta suhteellisen pienimuotoisia. Merkittäviä myönteisiä vaikutuksia vesiin voi syntyä maatalouden ravinnepäästöjä vähentävistä toimenpiteistä, varsinkin lannan jatkojalostukseen liittyen olettaen, että muun muassa lainsäädäntöön ja logistiikkaan liittyvät haasteet saadaan ratkaistua. Vaikka esimerkiksi yhdyskuntien jäteveden ravinnekuormitusta on merkittävästi vähennetty, ylittyvät enimmäiskuormitusmäärät kaikilla Suomen merialueilla. Ilman uusia toimenpiteitä maatalouden, haja-asutuksen, metsätalouden ja pistemäisten lähteiden aiheuttama

rehevöityminen tulisi jatkumaan suurimpana Suomen merialueen tilaa heikentävänä ongelmana. Ilmastonmuutos tuo lisähaasteita kaikkien näiden toimenpiteiden toteuttamiseen. Keskeisen osan ravinnekuormitusta vähentävistä nykytoimenpiteistä muodostavat vesienhoidon toimenpiteet sekä lainsäädäntö, kansalliset ja kansainväliset sopimukset ja lukuisat muut ohjelmat, strategiat ja suositukset.

7 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Uskelanjoen fosforipitoisuuden, virtaaman ja säätilan muutoksia keskimääräistä lämpimämmän ja kylmemmän talven aikana, sekä 20 vuoden vertailujakson talvikuukausina. Uskelanjoki on tyypillinen Saaristomereen laskeva valuma-alue, jossa maatalous on merkittävin ravinnekuormituksen aiheuttaja.

Uskelanjoen fosforipitoisuus vaihteli kahden tarkasteltavan talven välillä runsaasti. Lämpimänä talvena havaitut fosforipitoisuudet olivat moninkertaisia verrattuna kylmänä talvena tehtyihin havaintoihin. 20 vuoden tarkastelujaksossa fosforipitoisuus korreloi tilastollisesti merkittävästi virtaaman, sadesumman sekä ilman keskilämpötilan kanssa. Virtaamaolosuhteet lämpimänä talvena olivat moninkertaisia kylmän talven virtaamahavaintoihin verrattuna. Kumpanakin talvena suurimmat virtaamat havaittiin helmikuun loppupuolella, vain muutamia päiviä ennen talvikausien suurimpia fosforihavaintoja. 20 vuoden tarkastelujaksossa virtaama korreloi tilastollisesti merkittävästi kokonaisfosforin, sadesumman sekä ilman keskilämpötilan kanssa.

Olettaen, että leutoina, sateisina ja vähälumisina talvina jokien fosforikuormitus on keskimääräistä suurempaa, tulee Itämereen kohdistuva ravinnekuormitus kasvamaan ilmastonmuutoksen myötä. Etenkin Saaristomeren valuma-alueella maatalous on merkittävin fosforin kuormituslähde, ja Uskelanjoen valuma-alueen kaltaisilla laajasti viljellyillä alueilla kuormitus tulee voimistumaan ilman nopeita ja tehokkaita toimenpiteitä ravinnekuormituksen vähentämiseksi. Hydrologiset muutokset tulevat olemaan jo lähivuosikymmeninä selkeitä etenkin Etelä-Suomessa. Lämpenevän ilmaston myötä lumipeite tulee vähenemään, ja vetenä tulevat sateet kasvattavat talviaikaista virtaamaa ja ravinnekuormaa etenkin, kun maan jäätyminen vähenee. Vettynyt maa ja toistuvat jäätymis-sulamissyklit lisäävät eroosiota ja tulevat ilmastonmuutoksen myötä yleistymään.

Ilmastonmuutoksen ravinnekuormitusta voimistavan vaikutuksen takia valuma-alueen maankäytössä tulee ottaa huomioon siitä aiheutuvat vaikutukset vesistöihin. Voimistuvan eroosion myötä joet kuljettavat mukanaan runsaasti ravinteita sisältävää maa-ainesta ja siten köyhdyttää myös valuma-alueen maaperää. Eroosioaineksen mukana pintavesiin kulkeutuu ravinteiden lisäksi torjunta-aineita ja raskasmetalleja, jotka heikentävät veden laatua ja ovat merkittävä uhka vesiekosysteemeille. Herkimpiä ovat etenkin Etelä- ja Lounais-Suomen viettävät savipellot, joista todisteena ovat alueiden jokien ja järvien savisameus. Eteläisen

Suomen pienet rannikkojoet tai vähäjärviset vesistöalueet eivät pidätä typpeä ja fosforia juuri lainkaan, jolloin kuormitusvaikutus Itämereen on voimakas.

Kiitokset

Kiitos ohjaajalleni Elina Kasville kannustavasta ja innostavasta ohjauksesta. Kiitos rannikko- ja virtavesien tutkimusryhmälle tuesta ja johdattamisesta jokitutkimuksen pariin. Kiitos Anna Soirinsuolle Varsinais-Suomen ELY:stä, kun toimitit Uskelanjoen vesimittaridatan tämän tutkimuksen käyttöön. Kiitos Karoliina Korkiakoskelle korvaamattomasta avusta ja tuesta niin yliopistolla, kuin sen ulkopuolellakin. Kiitos Karoliina Lintunen, että sain käyttää kuviasi tässä tutkimuksessa. Lisäksi kiitos kaikille läheisille, jotka mahdollistivat opintojeni loppuun saattamisen.

Lähteet

- Beck, H., McVicar, T., Vergopolan, Berg, A., Lutsko, N., Dufour, A., Zeng, Z., Jiang, X., van Dijk, A. & Miralles, D. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific Data* 2023(10). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6>
- Dankers & Feyen (2008) Climate change impact on flood hazard in Europe: an assessment based on high-resolution climate simulations. *Journal of Geophysical Research* 113(19). <https://doi.org/10.1029/2007JD009719>
- Davie, T & N. W. Quinn (2019). *Fundamentals of hydrology*. 3. p. Routledge fundamentals of physical geography series. Routledge, New York. https://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/B9P2U2_Fundamentals%20of%20Hydrology-2019.pdf
- Ekholm, M. (1993) *Suomen vesistöalueet*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 126. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/166681>
- ESA (2025) Copernicus Sentinel 2-satelliittiaineisto 14.07.2021, ladattu 24.3.2025. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&themeId=DEFAULTTHEME&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE>
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T. & Ukonmaanaho, L. (2020) Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 – MetsäVesi-hankkeen loppuraportti. *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja* 2020(6). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-826-7>
- Franti, T. (2016) Eroosio ja kiintoaineen kulkeutuminen. Teoksessa Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.) *Maan vesi- ja ravinnetalous: Ojitus, kastelu ja ympäristö*. 2. p. 169–182.

https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/4504222/Maanvesijaravinnetalous_Salaojayhdistys_2016.pdf

Fleming, V., Kuosa, H., Hoikkala, L., Räike, A., Huttunen, M., Miettunen, E., Virtanen, E., Tuomi, L., Nygård, H. & Kauppila, P. (2021) Rannikkovesiemme vedenlaadun ja rehevöitymistilan tulevaisuus ja sen arvioiminen. *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoimikunnan julkaisusarja* 2021(14). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-111-7>

Ilmatieteen laitos (2024a) Havaintojen lataus. Kuukausi- ja hetkellishavainnot Kärkän ja Kiikalan havaintoasemilta, ladattu 1.8.2024.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ilmatieteen laitos (2024b) Salon sääennuste, ladattu 1.8.2024.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/salo>

Ilmatieteen laitos (2025) Vuoden 2020 sää, ladattu 1.8.2024.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2020>

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. (2009) *Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009*. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2009(4). <http://hdl.handle.net/10138/15711>

Järviwiki (2025) Uskelanjoki (25). Suomen ympäristökeskus, Helsinki, viitattu 1.10.2024.

[https://www.jarviwiki.fi/wiki/Uskelanjoki_\(25\)](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Uskelanjoki_(25))

Kasvi, E., Saarinen, A., Kämäri, M., Porkka, J., Alho, P. & Ekholm, P. (2024) The effect of seasonal variation, flow conditions and erosion forces on suspended matter fluxes from boreal gypsum-treated agricultural fields. *CATENA* 2024(243).

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108199>

Kipinä-Salokannel, S. (2016) *Saaristomeren valuma-alueen pintavesien toimenpideohjelma vuosille 2016–2021*. Varsinais-Suomen ELY-keskus, Turku.

<https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Saaristomeren%20valuma-alueen%20pintavesien%20vesienhoidon%20toimenpideohjelma%20vuosille%202016-2021.pdf>

Knighton, D. (1998) *Fluvial forms and processes: A new perspective*. Arnold, Lontoo.

Korhonen, J. (2007) *Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut*. Suomen ympäristö 2007(45). <http://hdl.handle.net/10138/38428>

Kulmala, A. (2024) *Saaristomeri, maatalous ja ravinnekuormitus*. Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto, Hesinki. <https://www.mtk.fi/-/saaristomeri-maatalous-ja-ravinnekuormitus>

KvantiMOTV (2025) Hypoteesien testaus. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, Tampere, viitattu 25.2.2025. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>

Laamanen, M., Suomela, J., Ekebon, J., Korpinen, S., Paavilainen, P., Lahtinen, T., Nieminen, S. & Hernberg, A. (2021) Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. *Ympäristöministeriön julkaisuja* 2021(30). https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163704/YM_2021_30.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lintunen, K., Kasvi, E., Uvo, C.B. & Alho, P. (2024) Changes in the discharge regime of Finnish rivers. *Journal of hydrology: regional studies* 2024(53). <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101749>

Maankamara (2025) Maaperä 1:200 000 (maalajit). Geologian tutkimuskeskus, ladattu 1.2.2025. https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/maapera_200k.html

Maanmittauslaitos (2023) Korkeusmalli 2 m, ladattu 1.2.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/korkeusmalli-2-m>

- Nieminen, P. (2025). Korrelaatioanalyysi. Tutkijaportti, Duodecim. Viitattu 1.1.2025.
<https://www.tutkijaportti.fi/syvarit/tilastolliset-menetelmat/>
- Nordic Weather (2025) Sääasema Salo, Pertteli. Viitattu 1.2.2025
<https://www.nordicweather.net/index.php?fi>
- Pietiläinen, O-P. & Ekholm, P. (1992) Origin of eroded material in small agricultural drainage basin in southwestwern Finland. *Aqua Fennica* 22(2) 105–110.
https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/documents/4/24023/24023_doc.pdf
- Pietiläinen, O-P (toim.) (2008) *Yhdyskuntien typpikuormitus ja pintavesien tila*. Suomen ympäristö 2008(48). <http://hdl.handle.net/10138/38370>
- Raateoja, M., Kauppila, P., Pitkänen, H., Knuutila, S. & Lehtoranta, J. (2015) Meren rehevöityminen rakentuu ravinteille. Teoksessa Rantajärvi, E. & Karjala, L. *Meren pärskäys 2015: Sukellus Itämeren hoitoon ja tilaan*, 80–89.
<http://hdl.handle.net/10138/155227>
- Ravinteiden kuormitus Itämereen (2025) Ympäristö.fi. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Viitattu 1.2.2025. <https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/meri/suomen-meriympariston-tila-2024/rehevoityminen/ravinteiden-kuormitus-itamereen>
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & M. Kämäräinen (2016) Climate Projections for Finland Under the RCP Forcing Scenarios. *Geophysica* 2016(51) 17-50.
https://www.researchgate.net/publication/311929213_Climate_projections_for_Finland_under_the_RCP_forcing_scenarios
- Salmela, J., Saarni, S., Blåfield, L., Katainen, M., Kasvi, E. & P. Alho (2022) Comparison of cold season sedimentation dynamics in the non-tidal estuary of the Northern Baltic Sea. *Marine Geology*, 443. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106701>
- Soirinsuo, A. (2024) Uskelanjoen vesimittaridata. Varsinais-Suomen ELY-keskus, Turku. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 27.9.2024.

- Suomen ympäristökeskus (2024) Avoimet ympäristötietojärjestelmät – Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. Hydrologiset havainnot, Uskelanjoen vesistöalue. Ladattu 1.10.2024. <https://www.syke.fi/fi/ymparistotieto/kartta-ja-tietopalvelut/avoimet-ymparistotietojarjestelmat>
- SYKE (2023) Valuma-aluejako. Suomen ympäristökeskuksen metatietopalvelu, ladattu 1.3.2025. <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/valuma-aluejako>
- SYKE (2012) Uomaverkosto. Suomen ympäristökeskuksen metatietopalvelu, ladattu 1.3.2025. <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/%7BE15CD0B3-3934-4ABC-BF23-A8C622FA6A57%7D>
- SYKE (2018) Corine maanpeite 2018. Suomen ympäristökeskuksen metatietopalvelu, ladattu 1.2.2025. <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/corine-maanpeite-2018>
- Taanila, A. (2019) Datan esittäminen ja kuvailu. Viitattu 1.2.2025. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://taanila.fi/kuvailu.pdf&ved=2ahUKEwio89y0yOOLAxXNEhAIHWrtOtgQFnoECDMQAQ&usg=AOvVaw3iAdpjWEcJg2fKM4a_LuuD
- Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahho, J., Röman, E. & Riihimäki, J. (2015) *Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2015(35). <http://hdl.handle.net/10138/159464>
- Uusitalo, R., Ekholm, P., Turtola, E., Pitkänen, H., Lehtonen, H., Granlund, K., Bäck, S., Puustinen, M., Räike, A., Lehtoranta, J., Rekolainen, S., Walls, M. & Kauppila, P. (2007) *Maatalous Itämeren rehevöittäjänä*. Maa- ja elintarviketalous 96. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-088-7>
- Valuma-alueen kunnostus (2025) Vesi.fi. Suomen ympäristökeskus, viitattu 1.3.2025. <https://www.vesi.fi/vesitieto/valuma-alueen-kunnostus/>
- VARELY (2011) *Tulvariskien alustava arviointi Kiskonjoen-Perniönjoen, Uskelanjoen ja Halikonjoen vesistöalueilla, Sauvonjoen valuma-alueella sekä niiden edustan*

rannikkoalueilla. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Helsinki.

https://www9.ymparisto.fi/i9/fi//tulvariskit_alueella/VARELY/Kiskon-Perni%C3%B6njoki%20Uskelanjoki%20Halikonjoki%20Sauvonjoki%20rannikkoalue.pdf

VARELY (2015). *Uskelanjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021*. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Helsinki.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117984/Raportteja%20107%202015.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B. & Käyhkö, J. (2010) National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391(3-4). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.035>

Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., & Aaltonen, J. (2012) *Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos - vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen*. Suomen Ympäristö 2012(16). <http://hdl.handle.net/10138/38789>

Veijalainen, N., Ahopelto, L., Marttunen, M., Jääskeläinen, J., Britschi, R., Orvomaa, M., Belinskij, A. & Keskinen, M. (2019) Severe drought in Finland: modeling effects on water resources and assessing climate change impacts. *Sustainability* 11(8). <https://doi.org/10.3390/su11082450>

Västilä, K. & Järvelä, J. (2011) Environmentally preferable two-stage drainage channels: considerations for cohesive sediments and conveyance. *International Journal of River Basin Management* 9(3-4) 171–180. <https://doi.org/10.1080/15715124.2011.572888>